

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Návrh nové technologie výroby kotevních desek ve firmě
MASSAG Stamping a.s.

New Technology Proposal of Anchor Boards in the Firm
MASSAG Stamping a.s.

Student:

Bc. Pavla Cygalová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavla Cygalová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh nové technologie výroby kotevních desek ve firmě MASSAG Stamping a.s.**
New Technology Proposal of Anchor Boards in the Firm MASSAG Stamping a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rozbor stávající technologie výroby.
3. Návrh nové technologie výroby kotevních desek.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava. 2009. 146 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
[2] VASILKO, K.; KMEC, J. *Delenie materiálu: Teória a technológia*. Prešov : 2003. 232 s. ISBN 80-7099-903-9.
[3] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie*. Košice : Technická univerzita Košice, Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
[4] EL-HOFY, H. *Advanced Machining Processes – Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. Egypt : Alexandria University, 2005, ISBN 0-07-145334-2.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23.5. 2011

.....
Pavla Cygalová

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 23.5. 2011

.....
Pavla Cygalová
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Pavla Cygalová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sadová 9, Kravaře, 747 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CYGALOVÁ P. *Návrh nové technologie výroby kotevních desek ve firmě MASSAG Stamping a.s.* : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 60s.

Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Tato diplomová práce se zabývá teoretickým rozbořem výroby střížných nástrojů nekonvenční technologií obrábění – elektroerozivním drátovým řezáním. Detailněji se pak zaměřuje na výrobu kotevních desek a návrhem nových postupů s přihlédnutím na provozní náklady. V práci je popsán vývoj této technologie, dále pak stroje, nástroje a parametry při WEDM technologii obrábění.

ANNOTACION OF THESIS

CYGALOVÁ P. *New Technology Proposal of Anchor Boards in the Firm MASSAG Stamping a.s.* : Master Thesis. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava. Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembl. 2011, 60p.

Thesis head: Kratochvíl, J.

The introducing part in this thesis focuses on theoretical analysis of cutting tools production - Wire Electrical Discharge Machining. This thesis is aimed on production of anchor boards and suggests new possibilities of procesing in comparison with operating costs. This thesis contains facts about progress of this technology, machines, tools as well as parameters during WEDM technology.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek a symbolů	8
1. Úvod	9
2. Společnost MASSAG Stamping a.s.	10
3. Nekonvenční metody obrábění	11
4. Elektrotepelné procesy úběru materiálu	13
4.1. Elektroerozivní obrábění	13
4.1.1. Historie elektroeroze.....	13
4.1.2. Princip elektroerozivního obrábění.....	15
4.1.3. Zákonitosti elektroeroze	16
4.1.4. Mechanismus úběru materiálu	17
4.1.5. Jednotlivé fáze výboje	17
4.1.6. Kvalita opracovaného povrchu	20
4.1.7. Dielektrická kapalina	22
4.1.8. Nástrojové elektrody a jejich opotřebení	24
4.2. Zařízení pro elektroerozivní obrábění	28
4.3. Vliv EDM technologií na životní prostředí.....	29
4.4. Použití EDM technologií.....	29
5. Elektroerozivní drátové řezání	32
5.1. Uplatnění elektroerozivního drátového řezání	33
5.2. Drátová elektroda	33
5.3. Dosahované parametry	34
6. Praktická část	36
6.1. Funkční části střížného nástroje	36
6.2. Vlastní střížný nástroj vyrobený společností Massag Stamping a.s.	39
6.3. Lis KAISER KSTU 4000	41
6.4. Elektrodrátová řezačka	41
6.4.1. Popis hlavních částí stroje	42
6.4.2. Specifikace stroje	43
6.4.3. Specifikace cívky drátu	43
6.4.4. Používané drátové elektrody	44

6.5.	Kotevní deska.....	45
6.5.1.	Materiál kotevní desky.....	46
6.5.2.	Výkresová dokumentace.....	48
6.6.	Současný postup výroby	49
6.7.	Návrh nové technologie	52
7.	Ekonomické zhodnocení stávající a nové technologie	54
8.	Závěr.....	56
	Seznam použité literatury	58
	Přílohy.....	60

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
CAD	počítačem podporované navrhování	
CAM	počítačem podporovaná výroba	
CNC	číslicové řízení počítačem	
D	rozměr dutiny	mm
DIN	německá norma	
E _b	energie mřížkové vazby	J
EBM	obrábění paprskem elektronu	
EDM	elektroerozivní obrábění	
EIR	pracoviště drátové rezačky	
E _s	energie povrchové bariéry	J
HRC	tvrdost dle Rockwela	
I	energie jednoho výboje	J
IBM	obrábění iontovým paprskem	
I _e	střední napájecí proud	A
L _b	boční opotřebení	μm
LBM	obrábění paprskem laseru	
L _h	opotřebení hrany	μm
L _v	opotřebení hrotu	μm
MCV	pracoviště frézovacího centra	
MIG/MAG	obloukové svařování v inertním a aktivním plynu	
M _m	min. hodnota zmenšení nástroje	
N _A	Avogadrova konstanta	atom/mol
PAM	obrábění paprskem plazmy	
R _{max}	drsnot povrchu	
TIG	obloukové svař. v ochranné atmosféře	
U _e	střední napájecí napětí	V
V _A	objem materiálu obrobku	m ³ /mol
V _e	energie výboje	mm ³
V _E	úbytek objemu elektrody	mm ³
V _m	úbytek objemu obráběného materiálu	mm ³
WEDM	elektrodrátové obrábění	
a	velikost pracovní mezery	mm
a _p	hloubka řezu	mm
d	průměr nástrojové elektrody	mm
k	součinitel úměrnosti pro katodu a anodu	
m _v	relativní opotřebení elektrody	mm
t _i	doba trvání impulzu	s
z	tloušťka narušeného povrchu	mm
δ	min. energie pro úběr materiálu	J

1. Úvod

Elektroerozivní obrábění (EDM), do kterého spadá také metoda drátového řezání (WEDM), je velmi známou strojírenskou technologií již více než padesát let. WEDM technologie je široce využívanou ve velkém počtu průmyslových oblastí, a proto ji můžeme dnes jen stěží nazývat netradiční.

Velký význam je přikládán této technologii v oblastech přesného obrábění nejrůznějších vodivých materiálů a zvláště pak při výrobě složitých obrobků z nástrojové oceli. Limitujícím faktorem pro ještě masivnější rozšíření této metody je nutnost elektrické vodivosti obráběné součásti. Dále již této metodě nejsou kladeny žádné překážky pro uplatnění.

Stále častěji využívaná metoda elektroerozivního drátového řezání, dnes zařazená na čtvrté místo co do celkového objemu obráběných součástí, zapříčinila stále zvyšující se poptávku po těchto strojích a tudíž snížení nákladů na pořízení stroje nového, spotřebního materiálu a následného servisu.

Tato práce je zaměřena na výrobu kotevní desky s přihlédnutím ke zproduktivnění této metody, přičemž jedna z použitých technologií výroby je ono zmiňované elektrodrátové řezání.

2. Společnost MASSAG Stamping a.s.

Tato diplomová práce byla zpracována pro společnost MASSAG Stamping a.s., která sídlí ve Fulneku.

V roce 1928 zakládá Mr. Matthias Salcher ve Vídni svou firmu na výrobu knoflíků, která je roku 1863 přesunuta do Bílovce. Samotný název firmy Massag vzniká složením slov: Matthias Salcher + Söhne Aktiengesellschaft. [11]

V roce 2009 dochází k rozštěpení společnosti Massag a.s a založení nové společnosti MASSAG Stamping a.s., Fulnek, která se rozkládá na 56 000 m². V roce 2005 došlo k rekonstrukci výrobních prostor a čtyřpodlažní administrativní budovy. Společnost má konstrukční, vývojový a výrobní potenciál splňující nejvyšší požadavky zákazníků. Spolupracuje ve všech fázích vývoje výrobku a procesu, od návrhu až po úspěšnou realizaci výroby. Jsou schopni zpracovávat technická data ve formátech catia, iges, vda a dwg. [11]

Lisovací stroje s tonáží od 250 do 11 000 kN jsou schopny vyvinout sílu 5-100 t a lisovat tak plechy z Al tloušťky 0,2 – 3 mm a plechy ze Fe tloušťky 0,2-10 mm. Další možnost zpracování jsou díly z mosazi a nerezí. Nedílnou součástí společnosti jsou stroje pro odporové (bodové a tlakové) svařování, svařování plamenem, obloukové svařování v ochranné atmosféře TIG a metoda MIG/MAG. [11]

Vlastní konstrukci a výrobu náradí zpracovávají kompletně ve 3D CAD systémech v kombinaci s 2D výkresy, přičemž k hlavní náplni patří výroba nástrojů transferových, kombinovaných, postupových, kontrolních a montážních přípravků s maximální velikostí 5000 x 2000 x 1200 mm a hmotností až 25000 kg. [11]



3. Nekonvenční metody obrábění

U nekonvenčních metod se nepoužívá klasický řezný nástroj, u kterého lze definovat pracovní části nástroje, jako například čela, hřbet, břit, ostří atd. Netvoří se tříska v pravém slova smyslu, protože k úběru dochází účinky tepelnými, chemickými nebo mechanickými (převážně abrazivními), či jejich vzájemnou kombinací. [12]

Nekonvenční metody se používají tam, kde nelze konvenčními metodami hospodárně obrábět nové konstrukční materiály s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí, materiálů odolných proti opotřebení (titanové a jiné „superslitiny“, karbidy, keramika apod.). [12]

Základními charakteristikami nekonvenčních technologií jsou:

- rychlost, možnosti a výkonnost obrábění nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu,
- materiál nástroje nemusí být tvrdší než obráběný materiál - zvláště tvrdé materiály se dají obrábět nástroji z měkkých materiálů,
- možnost zavedení plné mechanizace a automatizace \Rightarrow jednoduché včlenění dané operace do výrobní linky,
- zároveň s výrobou tvaru dochází u některých nekonvenčních metod obrábění také k řízené změně vlastností povrchové vrstvy, zejména zvýšení odolnosti proti korozi, zvýšení únavové pevnosti apod. [13]

Důvody rozšiřování nekonvenčních technologií do průmyslu:

- rostoucí podíl těžkoobrobitelných materiálů v konstrukci strojů (tj. žárovevých a žáruvzdorných ocelí, kalených ocelí a litin, keramických materiálů, slitinových kovů, titanových slitin, kompozitních slitin atd.),
- možnost komplexního opracování i značně nepravidelných tvarů (vnějších i vnitřních),
- nároky na tvarovou složitost a rozměrovou přesnost součástí (nástrojů, forem, zápustek),
- miniaturizace, tj. výroba přesných miniaturních součástí (vyšetřovací sondy v medicíně, v řídicí a regulační technice),
- vhodnost uplatnění v automatizovaných provozech, využití systémů CAD, CAM. [15]

Nekonvenční technologie rozdělujeme podle stupně průmyslového použití do tří hlavních kategorií. [12]

a) Oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- obrábění ultrazvukem,
- obrábění kapalinovým paprskem a abrazivním kapalinovým paprskem.

b) Oddělování materiálu tepelným nebo elektrotepelným účinkem:

- elektroerozivní obrábění (EDM),
- obrábění paprskem laseru (LBM),
- obrábění paprskem elektronů (EBM),
- obrábění paprskem plazmy (PAM),
- iontovým paprskem (IBM).

c) Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým obráběním:

- elektrochemické obrábění,
- chemické obrábění.

4. Elektrotepelné procesy úběru materiálu

Elektrotepelné nebo také tepelné procesy používají pro úběr materiálu jako primární zdroj tepelnou energii, kterou poskytují vysokoenergetické paprsky elektronů, fotonů a plazmy. [3]

Charakteristické pro energetické paprskové procesy je, že úběr materiálu probíhá zvyšováním vnitřní energie atomů na povrchu obrobku. Odebírání materiálu je výsledkem reakce elementárních částic atomů v povrchu obrobku s částicí materiálu nebo účinkem shluku částic na shluk částic.

Podstatou procesů, které probíhají na atomární úrovni je, že energie potřebná k odstranění atomů z povrchu obrobku musí být větší jak energie mřížkové vazby E_b a musí existovat přebytek energie povrchové bariéry E_s , která se shoduje s potenciální bariérou povrchu. Potom minimální energie potřebná pro úběr materiálu jednotkového množství materiálu je vyjádřena vztahem:

$$\delta = E_b + E_s N_A / V_A \quad (4.1)$$

N_A je Avogadrovo číslo $6.022 \cdot 10^{23}$ (atom/mol), V_A je molární objem materiálu obrobku (m^3/mol). [3]

4.1. Elektroerozivní obrábění

Ve fyzice a fyzikální chemii se objevily nové způsoby, které lze využít při obrábění. Na těchto principech se vyvinuly elektrochemické a elektro-fyzikální metody obrábění. Novými technikami lze dosáhnout geometricky a technologicky náročných součástí a tvarových nástrojů. Velký podíl na vývoji těchto metod obrábění má především i to, že při obrábění nepůsobí na obrobek žádná síla a tuhé obrobky se nedeformují. Při elektroerozivním obrábění dochází k lokálnímu ohřevu mikroskopické vrstvy. Tyto metody se uplatňují při obrábění těžko obrobitelných materiálů, protože velikost úběru nezáleží na mechanických vlastnostech obrobku (tj. na pevnosti, tvrdosti apod.) [8]

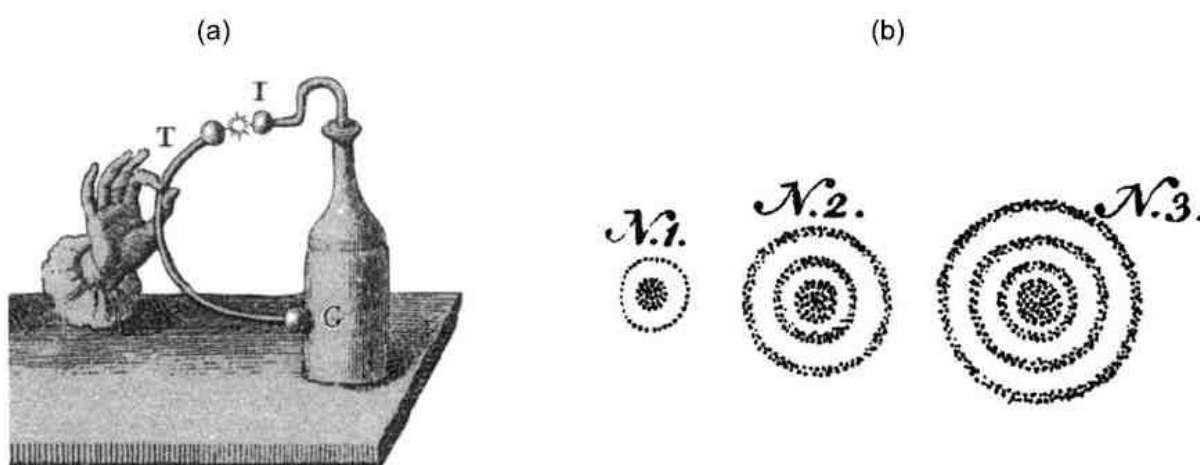
4.1.1. Historie elektroeroze

Historické kořeny elektroeroze se datují zpět až k objevu elektrických výbojů. Vedle výbojů produkovaných přírodními silami, zejména blesky, byly uměle vytvořené výboje přímo závislé na vývoji zdroje elektrické energie.

První výzkumy elektrostatického fenoménu byly pozorovány při tření již během první poloviny 18. století. Poté byly první jiskry a pulzní oblouky elektrických výbojů vytvářeny za pomoci Leydenovy nádoby (obrázek 4.1), jakési počáteční formy kondenzátoru vynalezeného v Německu a Holandsku roku 1745.

Silnějšího výboje bylo dosaženo při spojení několika Leydenových nádob do paralely, čímž vznikla baterie. [2]

Již v roce 1766 anglický vědec J. Priestley při studii chování plynů zaznamenal, že na vodivých plochách (kovech) při elektrickém výboji v plynu vznikají krátery. Tento jev, později označován jako elektroeroze, se stal předmětem výzkumu v oblasti fyziky plynné a kapalně fáze. [1]

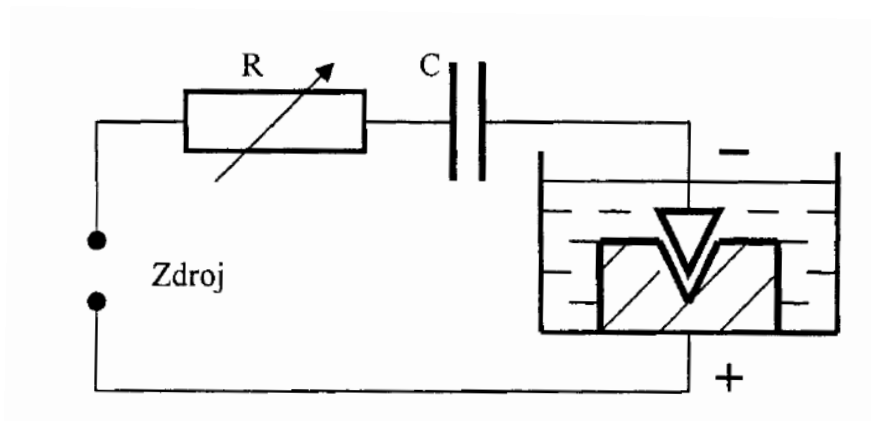


Obrázek 4.1 Leydenova nádoba [1]

- a) Elektrické výboje na Leydenově nádobě od Alessandra Volty
- b) Nákresy erozivních kráterů na katodě od Josepha Priestleyho z roku 1766

Jako autoři prvního technologického využití jsou všeobecně uznáváni manželé Lazarenkovi (RUS), kteří v období 1938 až 1944 prováděli intenzivní výzkum elektrických výbojů pro obrábění kovů. Nová metoda se ukázala jako velmi progresivní. [10]

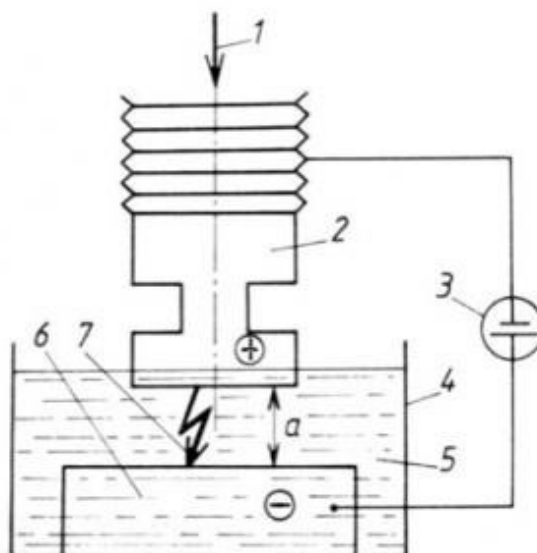
Všechny elektricky vodivé materiály podléhají elektrické erozi - materiály podléhají elektrické erozi jak v plynném, tak kapalném prostředí (dielektriku). Vhodným zapojením a volbou parametrů obvodu lze docílit přeměny stacionárního výboje (oblouku) na opakované nestacionární výboje, umožňující podstatně přesnější rozrušování materiálu. Jímí navržené zapojení použitého generátoru, označované též jako Lazarenkovo zapojení (obrázek 4.2), bylo dlouhou dobu používáno jako zdroj výbojů v oblasti elektroerozivního obrábění. [1]



Obrázek 4.2 Lazarenkovo zapojení [1]

4.1.2. Princip elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění je proces, u kterého se dosahuje úběru materiálu elektrickými výboji mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika (obrázek 4.3), což je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem. Elektroerozivním obráběním lze opracovávat pouze elektricky vodivé materiály. V počátečním stavu se nachází dvě elektrody v takové poloze, že jejich vzdálenost a je v rozmezí $1\text{--}500\mu\text{m}$. Prostor mezi elektrodami je vyplněn dielektrickou kapalinou. Elektrody jsou připojeny na zdroj vhodného elektrického napětí stejnosměrného s určitým vnitřním odporem. Při elektrickém výboji vznikají vysoké lokální teploty až $10\,000^\circ\text{C}$ a z povrchu obráběné plochy se odtavují a zplyňují částice materiálu. [10,4]



Obrázek 4.3 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [4]
 1 – směr posuvu nástrojové elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor,
 4 – pracovní vana, 5 – tekuté dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj

4.1.3. Zákonitosti elektroeroze

- podléhají jí všechny elektricky vodivé materiály,
- vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dospět dvou druhů výbojů: oblouk, tj. stacionární výboj a jiskra, tj. nestacionární výboj,
- intenzita působení výboje závisí na: elektrických parametrech výboje, vzdálenosti mezi elektrodami, znečištění a vodivosti dielektrika,
- elektroerozivní obrábění se používá pro: hloubení dutin záпустek a forem, výrobu složitých tvarových povrchů, řezání drátovou elektrodou, leštění povrchů, výrobu malých otvorů (mikroděrování), elektrokontaktní obrábění. [4]

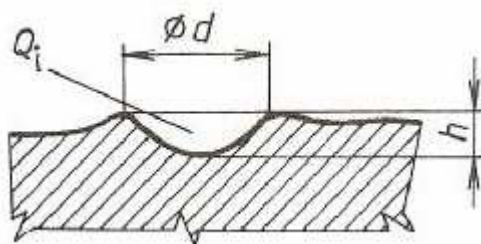
Parametry, které popisují proces elektroerozivního obrábění jsou: [3]

- zařízení pro EDM – jeho tuhost, stabilita, kapacita přítoku dielektrika a stupeň automatizace,
- dielektrická kapalina – její chemické složení a fyzikální vlastnosti,
- elektrické podmínky vzniku výboje – výsledný vzhled výboje, energie impulzů a frekvence výbojů,
- nástrojová elektroda – její chemické a fyzikální vlastnosti, tvar a rozměry. Nástrojové elektrody jsou z vodivých materiálů, přičemž jejich tvrdost může být menší než tvrdost opracovávaného materiálu,
- materiál obrobku – jeho chemické a fyzikální vlastnosti, výsledný tvar a rozměry.

4.1.4. Mechanismus úběru materiálu

Při elektroerozivním obrábění dochází k úběru materiálu vlivem teploty a eroze za vzniku výbojů. Materiál je nataven a následně se vypaří. [3]

Tvar a velikost kráteru vzniklého výbojem (obrázek 4.4) závisí na době trvání výboje a na jeho energii. Pro reálné využití elektroerozivních výbojů je důležitá velikost energie a vysoká frekvence výboje. Čím větší úběr materiálu bude, tím bude větší drsnost a menší přesnost povrchu obrobku. [8]



Obrázek 4.4 Tvar kráteru vzniklého elektrickým výbojem [8]

Množství materiálu odebraného jedním výbojem I:

$$I = k \cdot V_e \text{ (mm}^3\text{)} \quad V_e = U_e \cdot I_e \cdot t_i \text{ (J)} \quad (4.2)$$

Kde:

V_e - energie výboje

k - součinitel úměrnosti pro katodu a anodu

U_e - střední napájecí napětí

I_e - střední napájecí proud

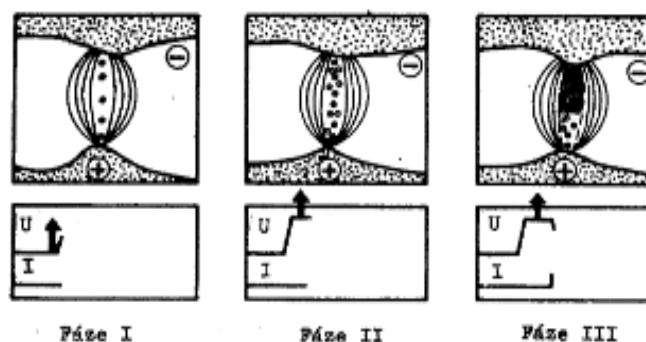
t_i - trvání pulzu

4.1.5. Jednotlivé fáze výboje

Fáze I: V okamžiku přiložení napětí na obě elektrody se začne formovat elektrické pole. V důsledku nerovnosti elektrod se v místě minimální vzdálenosti vytváří místo maximálního gradientu. Elektricky vodivé částice (znečištění) jsou vtahovány do tohoto místa. [9]

Fáze II: Přiložené napětí dosahuje maximální hodnoty, elektricky vodivé částice vytváří můstky jako základ potřebný k zapálení výboje. [9]

Fáze III: Působením elektrického pole se začínají ze záporně nabité elektrody uvolňovat částice – elektrony (obrázek 4.5). Tyto se sráží v prostoru s neutrálními částicemi a tříští se. Tak vznikají v kanále kladné a záporné ionty. Tento proces nazýváme ionizací prostředí. [9]

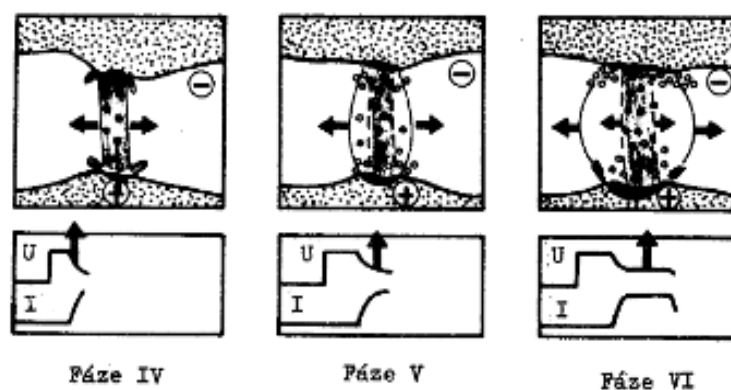


Obrázek 4.5 První tři fáze elektroeroze [9]

Fáze IV: Ionty obalují střed budoucího výbojového kanálu a klesá odpor. Mezi elektrodami začíná protékat proud, roste proudová hustota a vzniká vodivý kanál z plazmy. Roste teplota povrchu elektrod, proud a zároveň klesá napětí. [9]

Fáze V: Začíná odpařování dielektrika a vzniká plynová bublina. Následkem nárazů částic dochází k uvolňování vysokého množství tepelné energie (teplota až 10000°C). Nárazy elektronů na anodu a iontů na katodu způsobují ohřev ohraničených míst obou elektrod, jejich tavení a následné odpařování. Protékající proud dosahuje maximální hodnoty a napětí se ustaluje na takzvané zápalné hodnotě výboje. [9]

Fáze VI: Dochází k intenzivní expanzi bubliny a intenzivnímu tavení a vypařování materiálu (obrázek 4.6). [9]

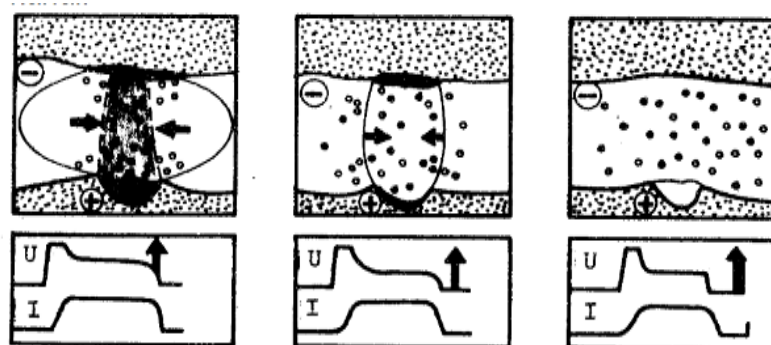


Obrázek 4.6 Jednotlivé fáze elektroeroze IV-VI

Fáze VII: Přerušení přiváděné energie a úbytek proudu mezi elektrodami vyvolávají snížení dodávek tepla do místa výboje. Pokles teploty je příčinou začátku imploze plynové bubliny. Síly elektrického pole a pokles tlaku plynů způsobují vytrhávání taveniny do prostoru. [9]

Fáze VIII: Pracovní proud a napětí mezi elektrodami klesá na nulovou hodnotu. Dochází k zániku bubliny a výboje. Do vzniklého kráteru vniká dielektrikum, které ochlazuje taveninu a zabraňuje průniku tepla do hlubších vrstev kovu. Odebraný materiál zůstává v dielektriku ve formě spalin a mikročástic ve tvaru kuliček. [9]

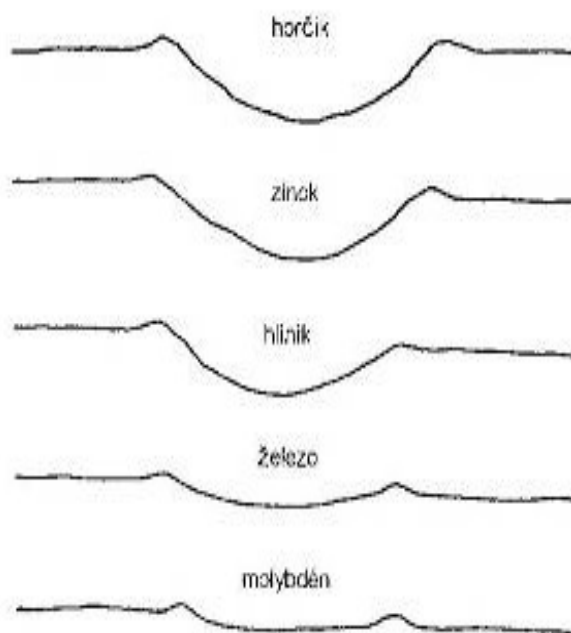
Fáze IX: Stav před začátkem nového výboje. Dielektrikum je znečištěno produkty eroze a obsahuje zbývající volné ionty, které jsou základem pro nový výbojový kanál (obrázek 4.6). [9]



Obrázek 4.6 Jednotlivé fáze elektroeroze VII-IX

4.1.6. Kvalita opracovaného povrchu

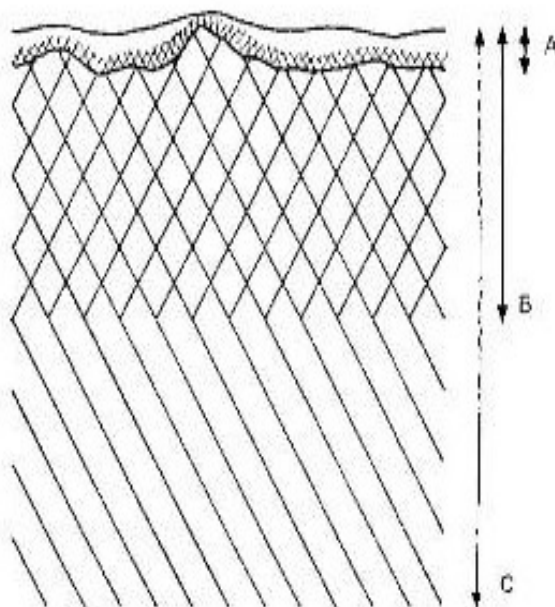
Povrch po elektroerozivním obrábění má náhodný izotropní profil, který je charakteristický krátery s poměrem hloubky kráteru k průměru kráteru 5 až 20. Hloubka kráteru bývá okolo 2,5 μm a průměr 12,5 μm . Hloubka kráteru a jeho průměr roste se zvyšující se energií jiskrového výboje až na hodnoty 12 μm hloubka, 60 μm průměr. Na obrázku 4.7 jsou zobrazeny typické profily kráterů pro různé materiály při stejných podmínkách výboje. Povrch má matný vzhled.



Obrázek 4.7 Profily vznikajících kráterů pro různé materiály při stejných podmínkách [3]

Vlivem působení vysokých místních teplot jsou metalurgické změny v povrchové vrstvě a vznikají poruchy, jako jsou trhliny na krajích zrn, dvojení a štěpení. Vysoká rychlost ochlazení má za následek poruchy krystalové mřížky.

Charakter ovlivněné povrchové vrstvy při EDM opracování znázorňuje obrázek 4.8. Na nataveném a rychle zakaleném povrchu materiálu se tvoří tenká přetavená epitaxiální vrstva o tloušťce asi 10 ÷ 40 μm . Za přetavenou vrstvou je oblast kontaminována materiálem pracovní elektrody, její tloušťka bývá kolem 0,025 mm. Pod touto vrstvou vzniká tzv. bílá vrstva, silně nauhličená ztuhlá tavenina s tvrdostí okolo 60 HRC, je zároveň součástí tepelně ovlivněné vrstvy. [3]



Obrázek 4.8 Typický charakter povrchu po elektroerozivním obrábění

A – vrstva roztaveného kovu 10-40 μm

B – oblast vykazující znečištění způsobené difuzí materiálu elektrody do hloubky 250 μm

C – tepelně ovlivněná vrstva 400 μm [3]

Elektroerozivně opracované povrchy jsou charakterizované vznikem tahových zbytkových napětí v povrchové vrstvě v důsledku tepelného působení. Velikost vznikajících tažných zbytkových napětí se může blížit k mezním hodnotám pevnosti v tahu.

Zbytková napětí v povrchové vrstvě ovlivňují funkční vlastnosti obrobku. Tažné napětí snižují hranici meze únavy a ulehčují rozrušování povrchových vrstev při vzájemném spolupůsobení povrchů. Z uvedeného důvodu, povrchy opracované elektroerozivním obráběním mají sníženou životnost v podmínkách tahového pracovního zatížení. Naopak v podmínkách tlakového zatížení povrchů by mohlo dojít ke zvýšení jejich životnosti.

Drsnost povrchu závisí na intenzitě úběru materiálu, na způsobu opracování (hrubování, dokončování), na kvalitě a čistotě dielektrické kapaliny a na parametrech elektrických výbojů.

Délka trvání impulzů rovněž ovlivňuje dosahovanou drsnost povrchu. Se zvyšujícím se časem trvání impulzu drsnost povrchu mírně stoupá. Přesnost rozměrů elektroerozivně opracovaných předmětů závisí od technologické přesnosti, kterou tvoří přesnost kinematických celků stroje, přesnost výroby nástrojové elektrody, přesnost nastavení elektrody vůči obrobku, přesnost výměny nástrojové elektrody a způsob proudění dielektrika v pracovním prostoru. [3]

Přesnost a kvalita EDM opracovaného povrchu závisí ve velké míře na štěrbině mezi elektrodou a předmětem. Rozměr mezery závisí od pracovních charakteristik použitého elektroerozivního stroje a od pracovních podmínek, které se používají na dokončovací obrábění. Při hrubování je zpravidla vzdálenost mezi obrobkem a elektrodou větší než při dokončování.

Nepřesnosti vznikající v procese EDM hloubení jsou kuželovitost otvorů, úkosity, úbytek nástrojové elektrody, velká makronerovnost obrobené plochy.

4.1.7. Dielektrická kapalina

Elektroerozivní výboj mezi elektrodami probíhá v různém pracovním prostředí, které je zpravidla elektricky nevodivé jako petrolej, olej, vzduch, a polovodivé jako vodní sklo, kaolínová emulze a solné roztoky. Pracovní prostředí, které převážně tvoří kapalina nazývaná dielektrikum, má vliv na vznik elektrojiskrového výboje. Druh prostředí působící na povrch obráběného materiálu má někdy také chemické účinky. [3]

Dielektrická kapalina má důležitý vliv na celý erozivní proces, a proto je potřeba věnovat pozornost její volbě.

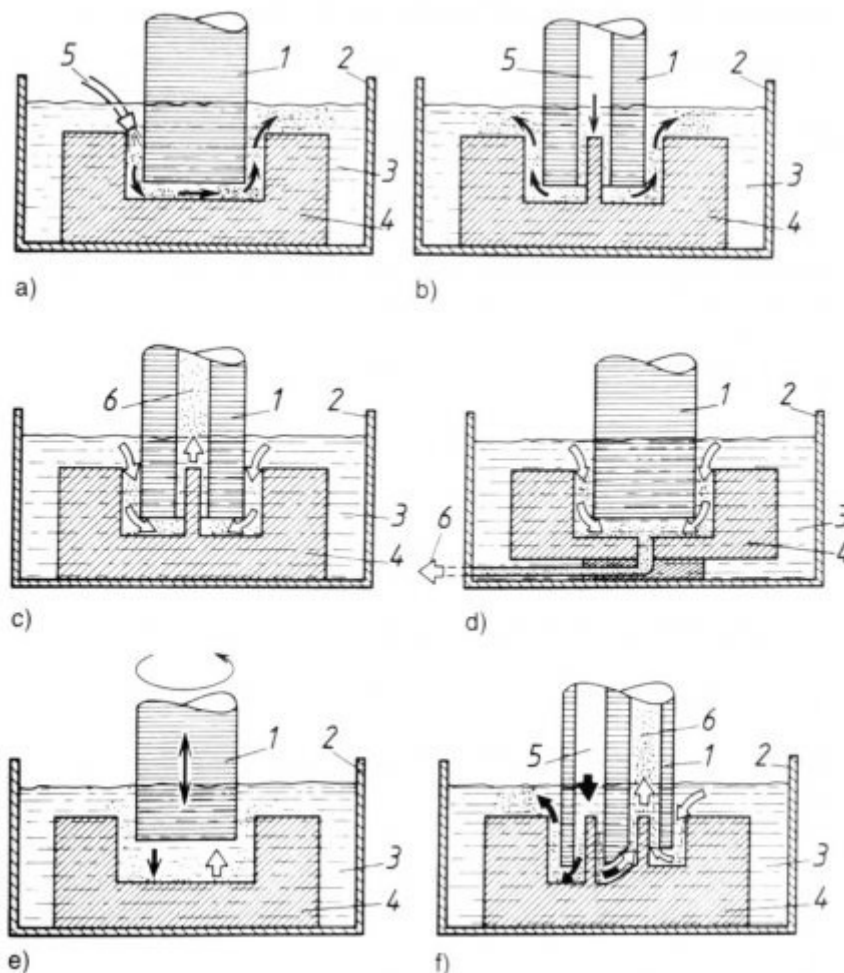
Na kapalinu jsou kladeny následující požadavky:

- Musí zabezpečovat potřebnou vzdálenost mezi elektrodami, aby průchod proudu mezi oběma elektrodami vyústil ve výboj.
- Musí mít malou viskozitu a dobrou smáčivost, aby se rychle obnovovala izolace po výboji.
- Musí být chemicky neutrální, aby zamezovala vzniku koroze.
- Musí mít dostatečně vysokou teplotu hoření, aby nedocházelo ke vzplanutí.
- Musí zabezpečovat ochlazování elektrod a odebraných mikročástic třísky.
- Při práci nesmí vznikat jedovaté výpary a nepříjemný zápach.
- Nesmí podléhat chemickým změnám, musí být stálá, lehce vyrobitelná a levná.
- Musí zabezpečovat dobrý odvod erozních zplodin ze zóny úběru materiálu. [3]

Nejnověji se jako dielektrikum používá destilovaná voda, která je vhodná z hlediska požární bezpečnosti, nízké ceny a nízké viskozity a zároveň chemicky nereaguje s uhlíkem. Deionizovaná voda má malou vodivost okolo $2 \text{ až } 5 \cdot 10^{-16} \text{ S.m}^{-1}$ a doporučuje se pro jemné obrábění. [3]

Vyplachování, neboli přívod dielektrika mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem může být několika způsoby:

- Vnější vyplachování (obrázek 4.9a) - nejčastěji se používá na obrábění dutin s větší hloubkou, vhodná kombinace s pulzním vyplachováním.
- Vnitřní tlakové vyplachování (obrázek 4.9b) - v nástrojové elektrodě je vytvořen otvor pro přívod dielektrika do pracovního prostoru. Nepříznivým vlivem jsou zde odváděné částice odebraného materiálu, které jsou zdrojem nežádoucích výbojů na bocích dutiny (především v horní části) a to má za následek horší tvarovou přesnost.
- Vyplachování odsáváním (obrázek 4.9c,d) - zaručuje velmi dobrou tvarovou přesnost. Odsávání je možné provést dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku.
- Pulzní vyplachování (obrázek 4.9e) - vhodný pro hluboké dutiny při použití tenkých elektrod a pro dokončovací obrábění na čisto. Je založeno na krátkém přerušení elektroeroze (0,15 s až 10 s) a na oddálení nástrojových elektrod od obrobku (0,02 mm až 10mm), zvětší se pracovní mezera a dokonale se vypláchne. Někdy je oddálení elektrody doprovázeno jejím otáčením. Po nastavení optimální mezery je napájecí proud opět zapnut.
- Kombinované vyplachování (obrázek 4.9f) - je kombinací vnitřního tlakového vyplachování a odsávání. Tímto lze odstranit chyby tvaru obráběné dutiny a můžeme tak hloubit složité tvarové dutiny. [7]



Obrázek 4.9 Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu – vyplachování
a) vnější, b) tlakové vnitřní, c), d) odsáváním, e) pulzní, f) kombinované
1 - nástrojová elektroda, 2 - pracovní vana, 3 – dielektrikum, 4 – obrobek,
5 – přívod dielektrika, 6 – odsávání dielektrika [7]

4.1.8. Nástrojové elektrody a jejich opotřebení

Nástrojová elektroda, přestože není v přímém kontaktu s obrobkem, má velkou úlohu v procesu elektroerozivního obrábění. Náklady na elektrody představují podstatnou část provozních nákladů, protože zahrnují náklady na materiál elektrody, způsob výroby, údržbu a obnovu opotřebovaných elektrod. [3]

Nástrojové elektrody lze vyrobit z materiálů, které mají:

- dobrou elektrickou vodivost,
- dobrou tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu,
- vysoký bod tání a bod varu,
- odolnost proti elektrické erozi,
- vyhovující mechanickou pevnost,
- stálost tvarů a malou tepelnou roztažnost,
- dobrou obrobitelnost. [5]

Jedná se tedy o materiály:

- kovové - elektrolytická měď, slitina chromu a mědi, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra, mosaz
- kombinované – kompozice grafitu a mědi

Materiál pro nástrojové elektrody se volí podle objemového opotřebení elektrody, materiálu obrobku a podle stroje na kterém budeme obrobek obrábět. [5]

Nástrojová elektroda, která se obvykle připojí k zápornému pólu obvodu, je z různých materiálů. Při opracování otvorů se používají elektrody z mědi, litiny, mosazi a měď-grafitové kompozice. Nejvíce rozšířeným materiálem elektrod je grafit pro elektroerozivní a elektroimpulzní technologie. **Grafit** je dobře obrobitelný a má vhodné charakteristiky pro EDM obrábění, hlavně vysokou teplotu tavení okolo 3000°C. Nevýhodou grafitu je znečišťování stroje. [13,3]

Měď jako materiál elektrod je dobře odolná vůči erozivnímu opotřebení a její použití je hospodárné. Měďené elektrody nepracují tak dobře jako z grafitu nebo mosazi. Doporučuje se pro obrábění karbidů a pro jemné dokončování povrchů s drsností Ra pod 0,5 μm. [13,3]

Mosaz je dobře obrobitelný materiál, vhodný pro elektrody, ale v porovnání s měďenými nebo grafitovými elektrodami se rychle opotřebovává. Používá se pro hloubení úzkých otvorů a pro vrtání. Vhodný pro obrábění karbidu wolframu.

Měď-wolframové a stříbro-wolframové elektrody se vyznačují vysokou cenou. Používají se pro výrobu elektrod na hluboké drážky. Elektrody jsou vyráběny slinováním wolframu s mědí nebo stříbrem. Po slinutí již nemůže být elektroda tvarována v důsledku křehkosti materiálu.

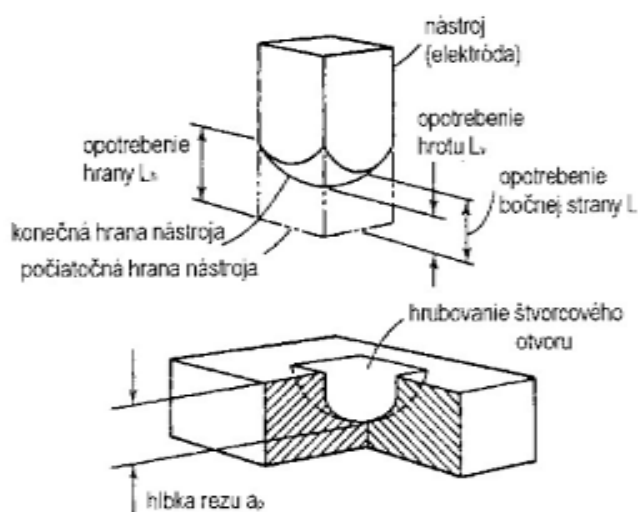
Odolnost nástrojového materiálu vůči opotřebení je dáno jeho fyzikálními vlastnostmi. Čím má materiál vyšší bod tavení, tepelnou vodivost, Youngův modul pružnosti, Poissonovo číslo a čím nižší koeficient lineární tepelné roztažnosti, tím je jeho odolnost vůči opotřebení vyšší. Hodnoty fyzikálních vlastností vybraných materiálů pro nástrojové elektrody jsou uvedeny v tabulce 4.1. [13,3]

Tabulka 4.1 Fyzikální vlastnosti vybraných materiálů pro nástrojové elektrody [3]

Materiál	Bod tavení [°C]	Bod varu [°C]	Tepelná vodivost	Elektrická vodivost	Pevnost [N/mm ²]	Modul pružnosti [N/mm ² ·10 ³]
Grafit	3 000	> 4 000	30,3	0,1	34	5,9
Meď	1 083	2 580	94,3	96,5	241	124
Wolfram	3 390	> 5 930	29,6	48,1	41,3	351
Železo	1 535	> 2 800	16,2	16,2	275	186

Při kvantitativním a kvalitativním hodnocení opotřebení nástroje se určují hodnoty úbytku materiálu z klíčových míst tvarových elektrod jako intenzita úbytku objemu. Na obrázku 4.10 je zobrazena charakteristická oblast opotřebení a používaná terminologie pro hodnocení. Relativní opotřebení nástrojové elektrody vyjádřené v procentech je dáno poměrem úbytku objemu elektrody V_E k úbytku objemu obráběného materiálu V_m . [3]

$$m_v = \frac{V_E}{V_m} \cdot 100\% \quad (4.3)$$



Obrázek 4.10 Charakteristické oblasti opotřebení [3]

$$\text{Stupeň opotřebení hrotu} = \frac{a_p}{L_v}$$

$$\text{Stupeň opotřebení hrany} = \frac{a_p}{L_h}$$

$$\text{Stupeň opotřebení boční hrany} = \frac{a_p}{L_b}$$

Úbytek materiálu elektrod závisí na:

- fyzikálních vlastnostech materiálu elektrody (teplota tání, vodivost, měrné teplo),
- elektrických parametrech výboje,
- polaritě generátoru [5].

Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází z:

- požadovaného rozměru dutiny,
- velikosti pracovní mezery – je funkcí pracovních parametrů generátoru, volí se z normativů dodávaných výrobcem strojů,
- požadované drsnosti obrobeného povrchu – je funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. při hrubování (dané způsobem vyplachování, tvarem dutiny apod.); při výrobě ostrých rohů je nutná korekce tvaru nástrojové elektrody tloušťky narušeného povrchu – má význam pouze při velkých energiích výbojů (obvykle dosahuje hodnot 0,005 mm až 0,01 mm),
- minimální hodnoty M_m , o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny [5].

Například rozměr hrubovací elektrody na hloubení dutiny kruhového tvaru se určí takto (obrázek 4.11): [5]

$$d = D - 2(a + R + z) = d - 2M_m \quad (4.4)$$

Kde:

d - průměr nástrojové elektrody

D - požadovaný rozměr dutiny

a - velikost pracovní mezery

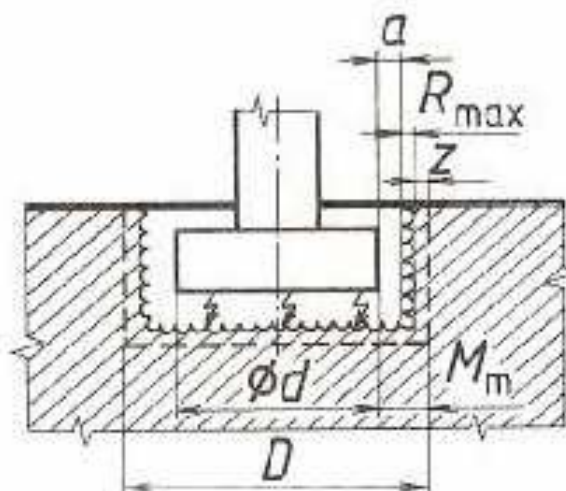
R_{\max} - požadovaná drsnost obrobeného povrchu

z - tloušťka narušeného povrchu

M_m - minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny

Stanovení rozměru dokončovací elektrody je dáno vztahem: [5]

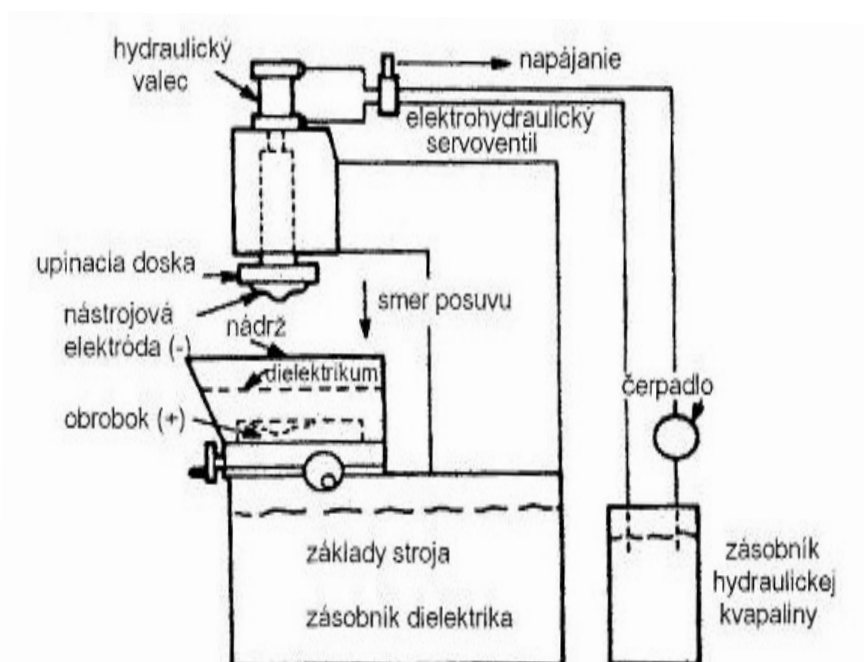
$$d = D = 2a \quad (4.5)$$



Obrázek 4.11 Stanovení rozměru hrubovací nástrojové elektrody

4.2. Zařízení pro elektroerozivní obrábění

Zařízení pro elektroerozivní obrábění podle obrázku 4.12 se skládá z rámu, pracovního stolu pro upnutí obrobku, suportu s nástrojem, nádrže s dielektrickou kapalinou a příslušným čerpacím a chladicím systémem a z generátoru na tvoření elektrických impulzů. [3]



Obrázek 4.12 Prvky zařízení pro elektroerozivní obrábění [3]

Rám stroje, který má obvykle tvar písmena C, musí mít dostatečnou tuhost, geometrickou přesnost a stabilitu. V rámu stroje jsou uloženy všechny ostatní části stroje jako pracovní suport s nástrojem, pracovní stůl na upínání obrobku a manipulaci s ním a též nádrž s dielektrickou kapalinou.

Důležitou úlohu v zařízení pro elektroerozivní obrábění má systém řízení, který zabezpečuje dodržení vzdálenosti potřebné pro vznik výboje. Pro zabezpečení stabilní šířky mezery se používají servomechanizmy na bázi jednosměrných krokovacích motorů. Mechanismus regulace pohybu elektrody umožňuje dodržet mezi elektrodami velmi úzkou mezeru a je schopný ji rychle rozšířit.

Nejdůležitější částí stroje je generátor elektrických impulzů, který určuje a ovlivňuje hlavně technologické a kvalitativní parametry elektroerozivního obrábění. [3]

4.3. Vliv EDM technologií na životní prostředí

Dle výzkumů nepředstavuje proces elektroerozivního obrábění větší nebezpečí než klasické obrábění. Spolu s klasickým obráběním patří k bezpečným způsobům obrábění. Neznamená to však, že je tato metoda úplně bez rizik. Základní rizikové faktory jsou spatřovány ve:

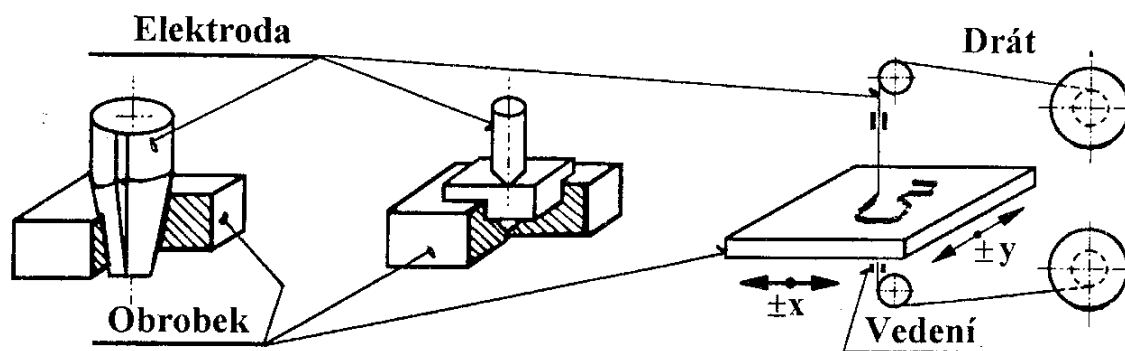
- vzniku požáru,
- zdraví škodlivých látkách [3].

Největší riziko je viděno ve vzniku požáru, jehož příčinou se může stát dielektrikum s nevhodným bodem vzplanutí. Z tohoto důvodu musí být přístroje opatřeny automatickým vypínáním systému v případě poklesu hladiny pod kritickou úroveň.

Z hlediska ochrany životního prostředí je nejpříjemnější deionizovaná voda jako dielektrikum pro elektroerozivní obrábění. Se zvyšujícími se požadavky na životní prostředí se její použití rozšířilo i na elektroerozivní hloubení. [3]

4.4. Použití EDM technologií

V současnosti nachází EDM opracování široké uplatnění v různých průmyslových oblastech. Z pohledu využití se rozděluje na tři dominantní oblasti (obrázek 4.13):



Obrázek 4.13 Elektroerozivní hloubení, děrování a řezání [3]

Hloubení dutin se využívá při výrobě o obnově kovacích zápusťek, neboť tyto bývají opatřeny tvrdými návary a často zhotovány z těžkoobrobitelných materiálů [10].

Výhody:

- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti,
- velký rozsah pracovních parametrů,
- možnost výroby součástí složitých tvarů,
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení,
- při výrobě ploch složitých tvarů se snižuje pracnost,
- poměrně jednoduchá výroba nástrojových elektrod,
- na hranách obrobku nezůstávají otřepy,
- výrobní proces lze snadno automatizovat. [12]

Nevýhody:

- nutnost ponoření obrobku do kapaliny v průběhu obrábění,
- nepřímá úměra mezi produktivitou obrábění a jakostí povrchu obrobené plochy,
- jakost obrobeného povrchu závisí na mnoha faktorech, které nelze předem spolehlivě určit,
- poměrně nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů. [12]

Nástrojová elektroda se při elektroerozivním hloubení automaticky posouvá proti obrobku, řídicí systém musí přitom udržovat konstantní velikost jiskrové mezery. Elektroda má negativní tvar obrobené plochy, který je prostřednictvím výbojů kopírován do obrobku. Produktivita obrábění a jakost povrchu obrobené plochy závisí na parametrech elektrického proudu, tvaru a frekvenci výbojů, dielektrické kapaliny, materiálu nástroje a materiálu obrobku. [13]

Při volbě nástrojové elektrody je třeba vzít v úvahu její materiál, výrobu (možnosti, cena) a opotřebení v průběhu daného procesu elektroerozivního obrábění. Materiál elektrody má mít vysokou elektrickou vodivost, dobrou obrobitelnost, vysoký bod tavení a dostatečnou pevnost, aby se při vlastní práci nedeformoval. K základním metodám výroby nástrojových elektrod patří obrábění, lisování, lití, prášková metalurgie, stříkání a galvano-plastika.

Na opotřebení elektrody má největší vliv teplota tavení použitého materiálu, hodnotí se opotřebení boků, rohů a konce elektrody. Nejvýznamnější kritérium, které určuje trvanlivost elektrody a vymezuje nutnost její úpravy, je opotřebení rohů. [13]

Drátové řezání materiálu s minimální šířkou řezu, vyřezávání profilu střížnic i střížníků se provádí pomocí drátové elektrody. Drát tvořící nástroj, resp. elektrodu se odvíjí z jedné cívky na druhou a prochází přes vodící zařízení místem řezu. Prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. Obrobek koná posuv kolmo na drátek potřebný pro zhotovení požadovaného tvaru. [10]

Děrování tvoří širokou oblast použití elektrojiskrového obrábění. Tímto způsobem lze vyrobit díry malých průměrů od 0,05 mm výše, otvory různých složitých tvarů a to i do houževnatých a těžkoobrobitelných materiálů. Otvory vyráběné touto metodou jsou kuželovité s větším rozměrem na vstupní straně.

V praxi je využití elektroerozivního obrábění velmi široké a různorodé.

Používá se:

- na zhotovení otvorů nejrůznějších tvarů do kalených materiálů, spékaných karbidů,
- na zhotovení ostříhovacích raznic,
- na vrtání malých otvorů od průměru 0,05 mm
- na mikroděrování,
- na obrábění materiálů vysoké pevnosti, na hloubení zápustek, opravu zápustek a lisovacích forem. [10]

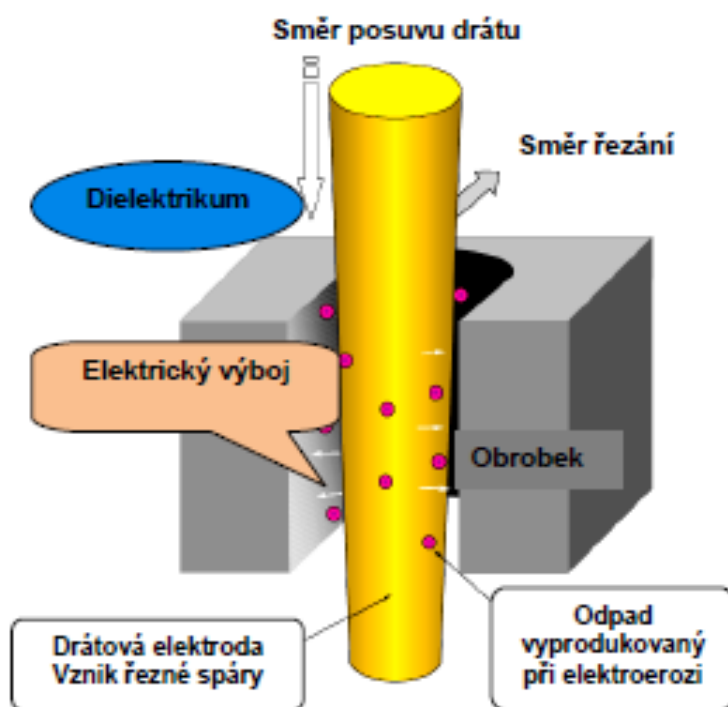
5. Elektroerozivní drátové řezání

Elektroerozivní drátové řezání (mezinárodní označení Wire Electrical Discharge Machining WEDM, popisuje se také jako Traveling Wire EDM zkráceně WIRE – EDM) je progresivní modifikací elektrojiskrového obrábění. Jeho zavedení znamenalo výrazný pokrok ve vývoji tvářecích nástrojů, především střížných a lisovacích nástrojů. [3]

Jejím zavedením došlo k výraznému pokroku ve výrobě tvářecích nástrojů, především střížných a lisovacích nástrojů. S prvními stroji pro drátové řezání přišla na trh společnost Agie, která také jako první použila NC řízení. [6]

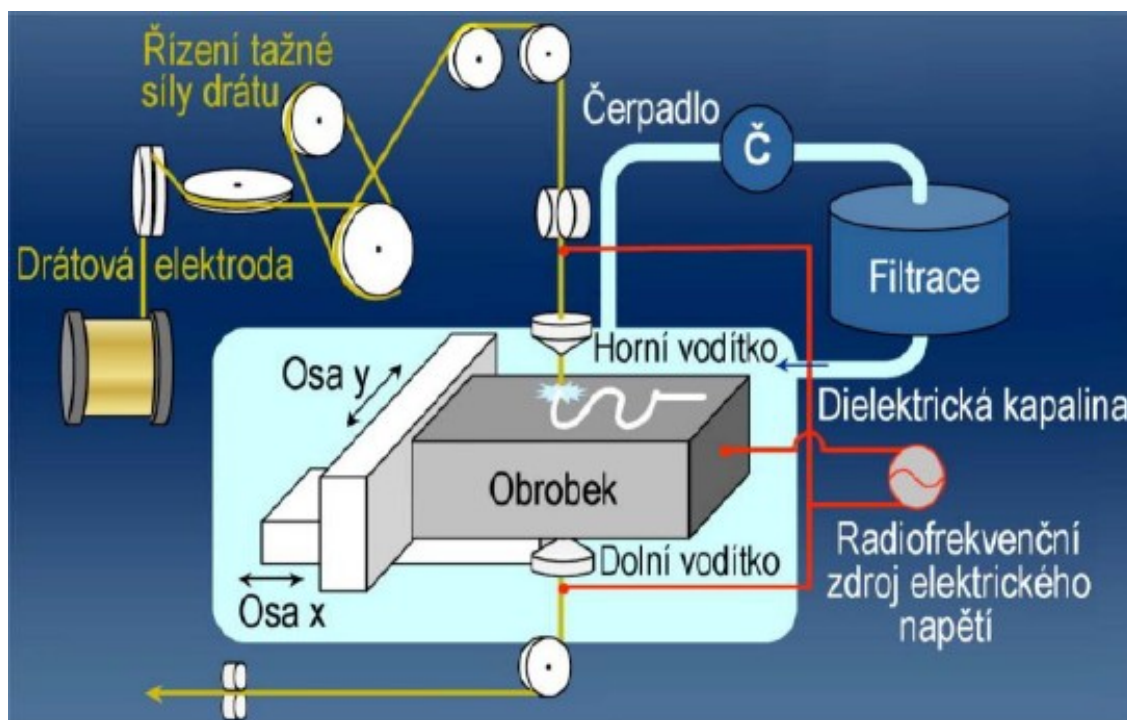
Stroj pro elektroerozivní řezání drátovou elektrodou tvoří obdobné hlavní skupiny jako stroje pro hloubení. Rozdíl je v nástrojových elektrodách a v systému podávání a vedení drátové elektrody. Nástrojová elektroda je tenký drát viz obrázek 5.1, který se postupně odvíjí pomocí speciálního zařízení. Postupné odvíjení drátu je potřebné pro vyloučení jeho opotřebení. Drát se použije pouze jednou. Pohyb drátu je pomalý a je řízený NC nebo CNC systémem stroje podle požadovaného tvaru vyráběného předmětu.

Obráběný předmět tvoří elektrodu opačné polarity než je drát. Způsob zapojení závisí na typu použitého výboje a konstrukci stroje. [4,3]



Obrázek 5.1 Model fyzikálního principu elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [4]

Vysoce efektivní je využití integrace technologie do systémů CAD/CAM. Princip technologie je zřejmý z obrázku 5.2. [6]



Obrázek 5.2 Elektroerozivní řezání [12]

5.1. Uplatnění elektroerozivního drátového řezání

Metodu elektroerozivního drátového řezání lze uplatnit při:

- dělení nástrojových ocelí,
- dělení a opracování destiček ze slinutých karbidů, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu,
- řezání vysoce tvrdých elektricky vodivých keramických materiálů jako například SiC, Si₃N₄, TiN, ZrB₂ (vodivost materiálů nesmí být nižší než 200 Scm⁻¹, protože by nedošlo k vytvoření elektrického oblouku mezi nástrojem a obrobkem). [6]

5.2. Drátová elektroda

Drát se odvíjí a pohybuje ve vertikálním směru po předem určené dráze. Nejrozšířenějším materiálem elektrody jsou mosazné a měděné dráty. Vynikají výbornými vlastnostmi jako je pevnost v tahu a elektrická vodivost. Nejnovější trendy využívají povlakované dráty, např. ocelové dráty povlakované mědí pro zlepšení elektrické vodivosti a nebo povlakované grafitem za účelem zvýšení rychlosti odvíjení drátu.

Průměr drátu se pohybuje v rozmezí 0,03 - 0,3 mm. Standardní průměr bývá okolo 0,2 mm. Rychlost posuvu drátu je v rozmezí 2,5-150 mm/s.

V průběhu řezání jsou na nástrojovou elektrodu kladeny specifické požadavky:

- vysoká elektrická vodivost,
- dostatečná mechanická pevnost,
- úzké tolerance rozměru (průměr) a tvaru (kruhovitost),
- přijatelná cena [9].

Prvý požadavek vyplývá ze situace obrábění, kdy nástrojová elektroda přivádí do jiskřiště elektrickou energii a obvykle je protékajícím proudem vysoce zatěžována.

Druhý a třetí faktor souvisí zejména s tvorbou pracovní mezery. Pro přesný řez je žádoucí, aby elektroda vstupovala do místa řezu řádně napnutá a vyrovnaná, jelikož každá nerovnost na jejím povrchu se negativně promítne na povrchu obrobku a kvalitě řezu, přesnosti výrobku i výkonu řezání. Z tohoto důvodu jsou drátové elektrody před vstupem do pracovní zóny kalibrovány diamantovými průvlaky a žíhány.

Poslední zmíněná vlastnost je z ekonomického pohledu jedna z nejdůležitějších. Drát se používá pouze jednou (projde místem řezu jen jednou), poté je nastříháním znehodnocen a odchází do odpadního zásobníku. Přitom rychlost drátu je (0,3 až 4,2) mm za sekundu. [9]

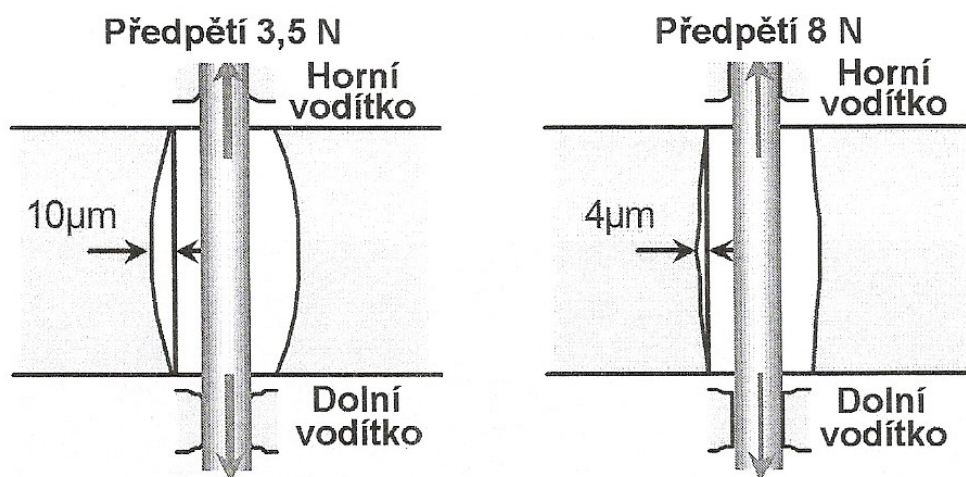
5.3. Dosahované parametry

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností a spolehlivostí CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika. Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. [4]

Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout:

- maximálního úběru materiálu $8 - 300 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$,
- rovnoběžnosti řezu do 2μ na 100 mm,
- drsnosti obrobeného povrchu $R_a = 0,08 - 0,3 \mu\text{m}$ (po druhém řezu),
- tloušťky řezaného materiálu 0,02 – 400 mm.

Následující obrázek 5.3 ukazuje nepřesnost řezání při různém předpětí drátové elektrody. [14]



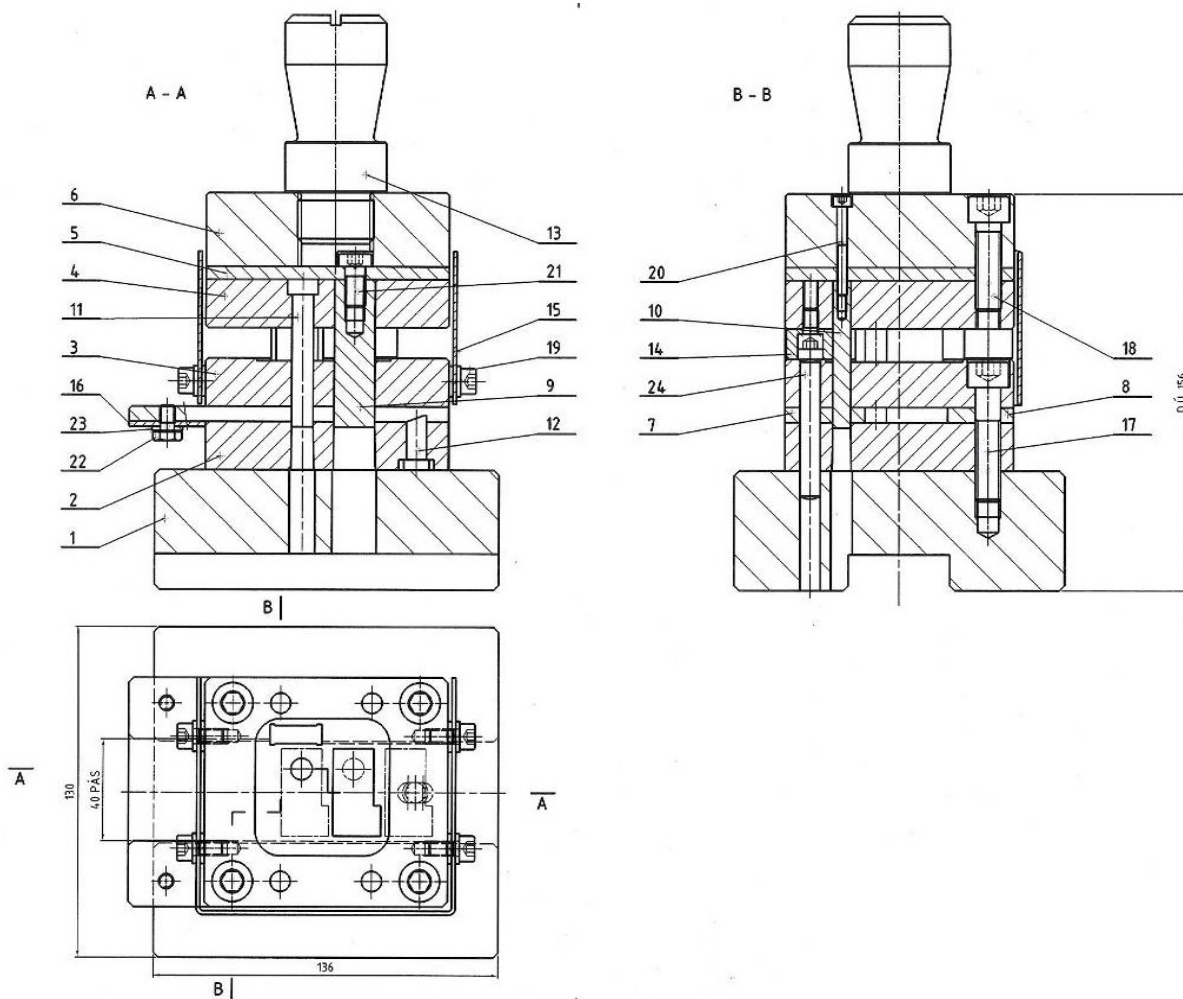
Obrázek 5.3 Nepřesnost řezání při různém předpětí elektrody [14]

6. Praktická část

Tato kapitola se bude zabývat vlastním popisem jednotlivých částí střížného postupového nástroje, dále pak strojem, na kterém se ve společnosti vyrábí elektroerozivním drátovým obráběním jednotlivé funkční části nástroje a drátovou elektrodou používanou ve výrobním procesu. Na závěr bude navržena nová možnost zkvalitnění a urychlení výroby kotevních desek a její ekonomické zhodnocení.

6.1. Funkční části střížného nástroje

Na obrázku 6.1 je znázorněn řez střížným nástrojem a dále pak jsou v tabulce 6.1 rozepsány jeho základní části.



Obrázek 6.1 Řez střížným nástrojem [19]

Tabulka 6.1 Části střížného nástroje

Pozice	Název	Pozice	Název
1.	Základová deska	8.	Vodící lišta II.
2.	Střížná deska	9.	Střížník I.
3.	Vodící deska	10.	Střížník II.
4.	Kotevní deska	11.	Střížník III.
5.	Opěrná deska	12.	Zpětný doraz
6.	Upínací deska	13.	Upínací čep
7.	Vodící lišta I.	14.	Výškový doraz

Základová deska

Není přímou součástí pracovní části stroje. K této desce je celý střížný nástroj přišroubován a poté vložen do lisovacího stroje. Pro snadnější kontrolu a vypadávání výlisků ze stroje je opatřena ve spodní části průhledem.

Střížná deska

Střížnou desku můžeme považovat za nejnákladnější část celého nástroje. V této desce je elektroerozivní drátovou metodou vyřezán přesný tvar požadovaného výlisku. Při třetím řezu je dosaženo přesnosti $\pm 0,01$ mm. Z ekonomického hlediska je přesný střížný otvor zhotoven jen do malé holoubky nástroje. Této přesné části nástroje se říká fazetka s tloušťkou 5 mm. Hloubka fazetky však záleží na potřebné životnosti nástroje.

Zbylá část otvoru střížné desky je opatřena úkosem sloužícím pro snadnější vypadávání výlisku. Do tloušťky plechu 3 mm je nástroj opatřen úkosem 1° , nad 3 mm tloušťky plechu tvoří úkos 2° .

V praxi se běžně používají na výrobu střížných desek materiály 1.2842 a 1.2379.

Vodící deska

Slouží k vedení střížníků a zabezpečuje, aby při vlastním stříhání nedošlo k jejich prohnutí a poškození. Obvykle bývá vyráběna z materiálu 1.2842 při požadované přesnosti děr H7.

Kotevní deska

V této desce jsou ukotveny střížníky. Vlastní výroba této desky je rozebrána v kapitole 6.5.

Opěrná deska

Slouží k opření střížníků.

Upínací deska

Tato deska je umístěna v nejsvrchnější části nástroje a je k ní upevněna upínací stopka, která je posléze uchycena v beranu.

Vodící lišta

Jejich funkcí je vedení pásu plechu ve střižném nástroji, popřípadě i přizvedávání plechu, který by se při tvarování mohl přichytnout k tažnici.

Střižník

Střižník je funkční částí nástroje vyhotovující odstříhnutím plechu požadované otvory. Základním požadavkem na střižníky je dostatečná tuhost upnutí a odolnost proti působícím silám. Z tohoto důvodu je nutné materiál střižníků 1.2379 kalit na hodnotu cca 58HRC.

Aby nedošlo ke zlomení střižníků malých průřezů, musí být dodržen poměr mezi tloušťkou stříhaného plechu, průřezem střižníku a jeho délkou.

Dorazy

Pro zajištění přesného zapozicování plechu v nástroji jsou na okrajích plechu postupně vystřihovány přesné dorazy. Nejčastěji jako dorazy bývají využívány kolíky zalisované ve střižných deskách. U střižných postupových nástrojů se používá jako doraz pro posunutí pásů plechu zástřih pro jezdce.

Upínací čep

Normalizovaná část nástroje potřebná k jeho upnutí v lisovacím stroji.

Pružiny

Pružiny se používají hlavně k vytvoření stírací síly, která odtrhne střižník od stříhaného materiálu. Druhá funkce spočívá v umístění nástroje do původní polohy potřebné pro následující stříh. Pružiny se dělí na vinuté a plynové.

6.2. Vlastní střížný nástroj vyrobený společností Massag Stamping a.s.



Obrázek 6.2 Střížný nástroj

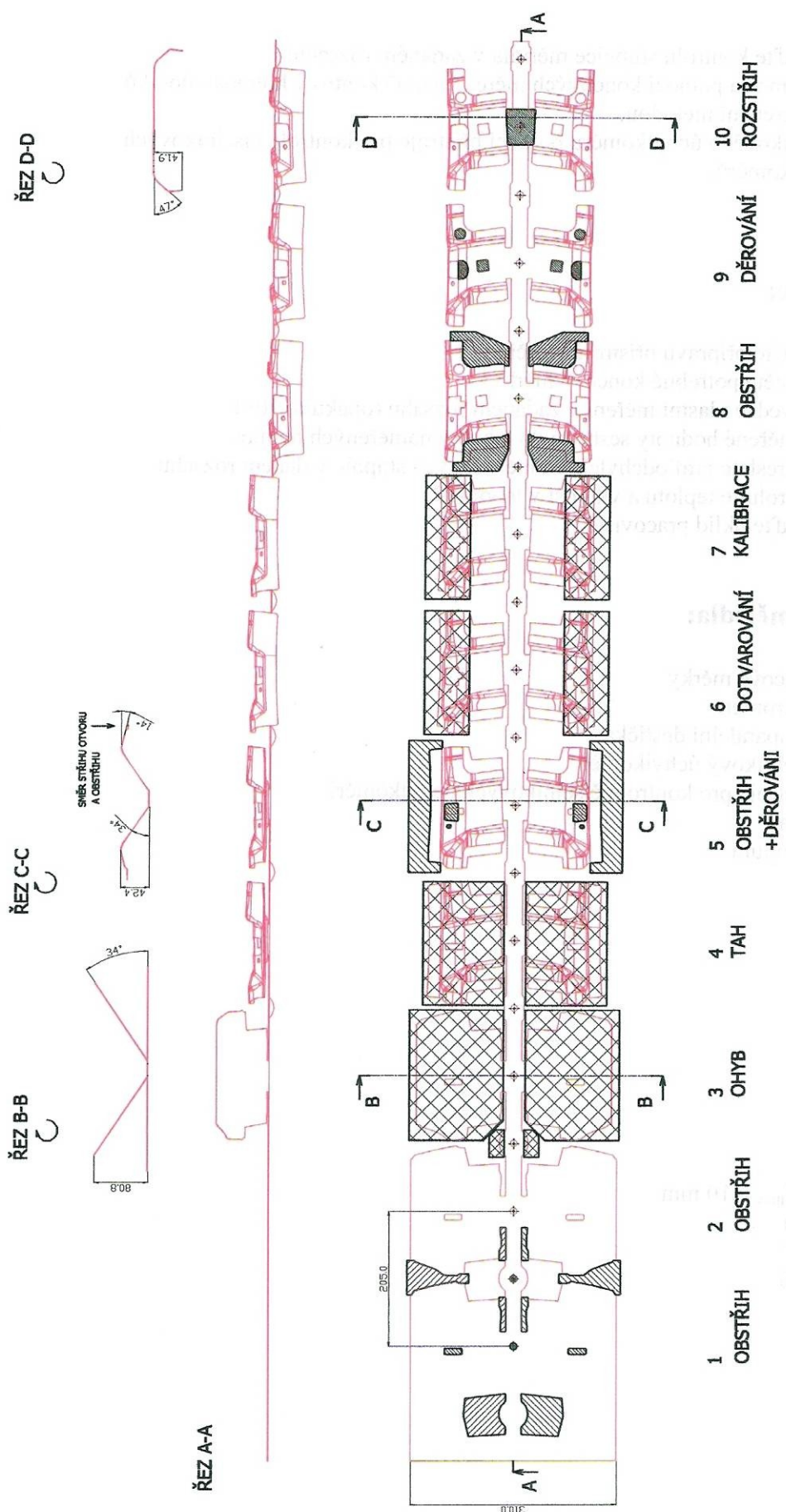
Střížný nástroj vyrobený pro společnost Benteler s.r.o. je možno si prohlédnout po celkovém zkompletování všech jeho částí na obrázku 6.2. Takovýto nástroj je schopen vytvořit po několika po sobě jdoucích operacích vyobrazených na obrázku 6.4 kompletní plechový výlisek z plechu tloušťky 0,8 mm (obrázek 6.3), který bude použit k výztuze střechy automobilu Lancia Ypsilon.

Parametry střížného nástroje:

- tlak – 300 kN,
- rozměry nástroje – 280 x 900 x 2370 mm
- zdvih – 300 mm
- celková hmotnost – 4650 kg



Obrázek 6.3 Hotový výlisek



Obrázek 6.4 Jednotlivé operace střížného nástroje [19]

6.3. Lis KAISER KSTU 4000

Výrobky výše popsaného střížného nástroje jsou lisovány lisem s označením KAISER KSTU 4000, který je zobrazen na obrázku 6.5.

Parametry lisu KAISER:

- rok výroby – 2000
- max. lisovací tlak – 4000 kN
- rozměr pracovního stolu lisu – 2500 x 1250 mm
- rozsah počtu zdvihů za minutu: 20 - 120
- max. sevřená výška: 700 mm



Obrázek 6.5 Lis KAISER KSTU 4000

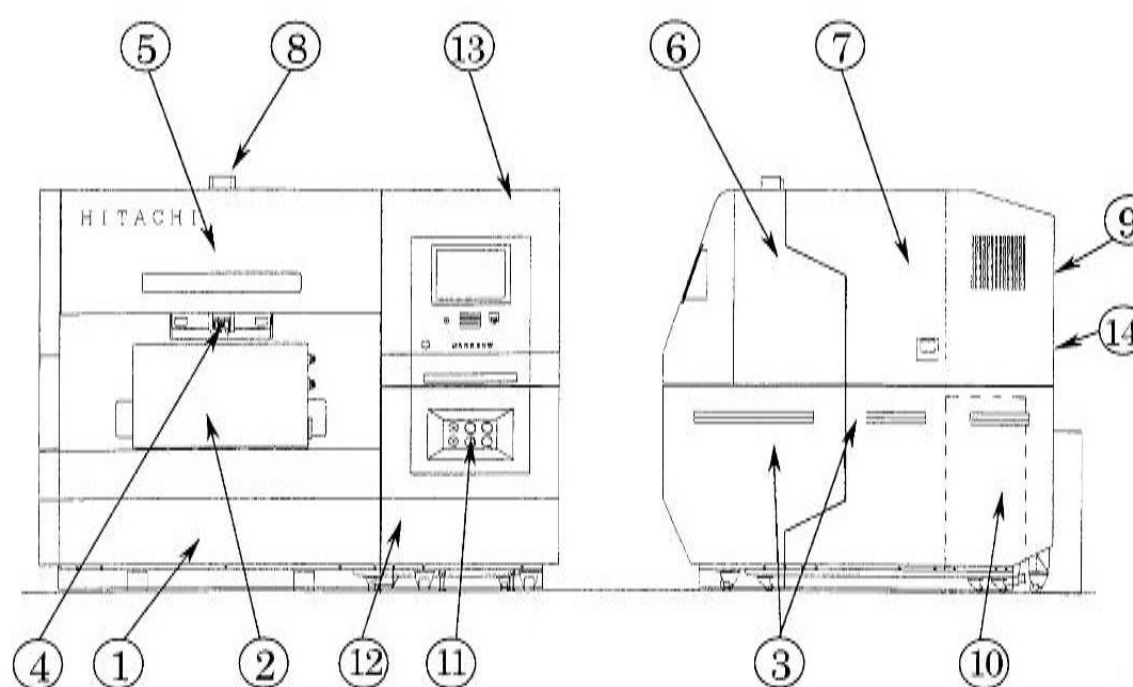
6.4. Elektrodrátová řezačka

Ve společnosti Massag Stamping se pro výrobu otvorů a jednotlivých součástí lisovacího nástroje elektroerozivním drátovým řezáním používá stroj HITACHI model 254Z vyobrazený na obrázku 6.6.



Obrázek 6.6 Drátová řezačka HITACHI 254Z

6.4.1. Popis hlavních částí stroje



Obrázek 6.7 Schéma stroje HITACHI 2545Z [16]

Tabulka 6.1 Popis částí stroje HITACHI 254Z

Pozice	Popis	Pozice	Popis
1.	lože	8.	jednotka osy Z
2.	pracovní nádrž	9.	vedení cívky drátu
3.	spodní vodítko	10.	uložení použitého drátu
4.	horní vodítko	11.	kontrola procesní kapaliny
5.	posuv drátu	12.	nádrž procesní kapaliny
6.	jednotka osy X	13.	NC řízení
7.	jednotka osy Y	14.	tlaková jednotka

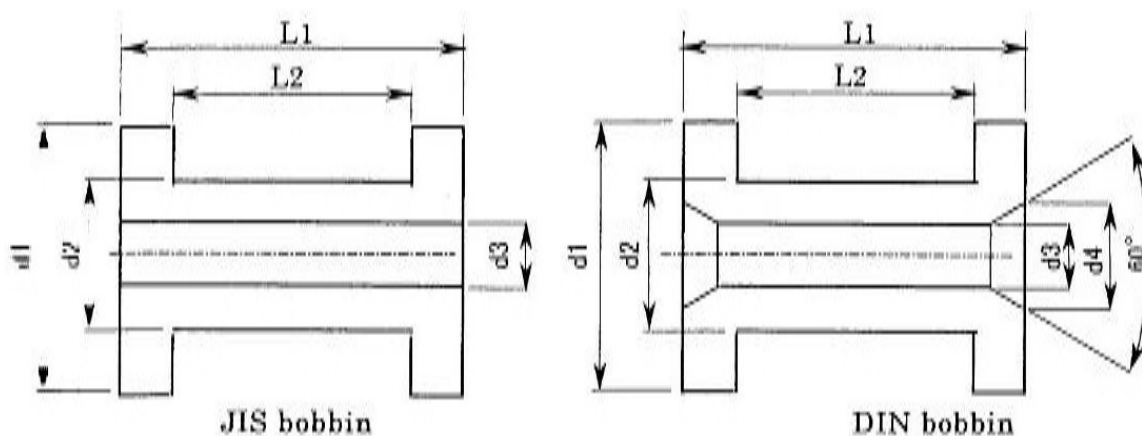
6.4.2. Specifikace stroje

Tabulka 6.2 Specifikace stroje HITACHI 254Z [16]

Popis stroje		Jednotka	Model: 254Z
Max. pracovní rozměry (ŠxDxV)		mm	600x400x210
Max. hmotnost polotovaru		kg	400
Vnitřní pracovní rozměry nádrže		mm	865x590
Max. použitelná špulka s drátem		kg	JIS 10kg
Rozměry drátu	Standardní	mm	ø 0.25
	Volitelný		ø 0.2 ø 0.3
Maximální úkos	Standardní	stupně/ výška v ose Z	±12°/100, ±15°/70
	Volitelný		±30°/18
Čistá hmotnost		kg	2200
Kapacita nádrže procesní kapaliny		l	470 (čistá + špinavá)
Kapacita nádrže přísady rezin		l	5
Max. hodnota proudu		A	22

6.4.3. Specifikace cívky drátu

Rozměry a tvar cívky drátu, které je možné používat do stroje HITACHI 254Z jsou graficky znázorněny na obrázku 6.8 a hodnotově zaznamenány v tabulce 6.3.



Obrázek 6.8 Grafické znázornění cívek drátu [16]

Tabulka 6.3 Rozměry cívek drátu

	Symbole cívky	d1 [mm]	d2 [mm]	d3 [mm]	d4 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	Poznámka
Cívka JIS	P – 1	100	50	16	-	90	70	dle JIS C3201
	P – 2	130	60	20	-	90	70	
	P – 5	160	70	20	-	114	90	
	P - 10	200	90	25	-	134	110	
Cívka DIN	100	100	63	16	24	100	80	dle DIN 46399
	125	125	80	16	24	125	100	
	160	160	100	22	24	160	128	
	200	200	125	22	24	200	125	

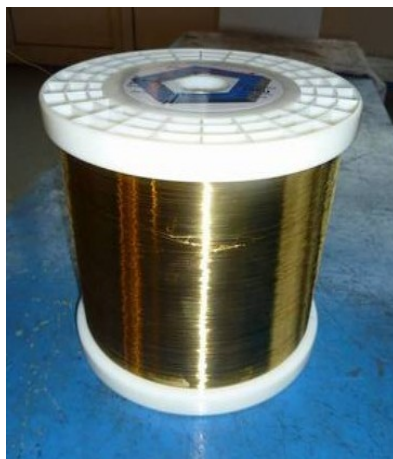
6.4.4. Používané drátové elektrody

Ve společnosti Massag Stamping jsou používány dráty k výrobě jednotlivých dílců lisovacího nástroje od společnosti PENTA označované PentaCut-T:

- hmotnost - 15 kg,
- průměr - 0,25 mm,
- pevnost v tahu – 1000 N.

Tento mosazný drát na obrázku 6.9 je možno používat pro všechny typy strojů. Má garantovanou pevnost po celé délce. Vyšším napnutím drátu je zajištěna maximální přesnost ve velkých výškách řezu. [17]

Tento drát vyniká vysokou přímostí při odvinu bez tvarové paměti. Rovněž je zajištěno chemické složení Cu60Zn40 a mechanické vlastnosti. Je vhodný pro bezobslužný provoz s využitím automatického navlékání drátu i do vodní lázně. [17]



Obrázek 6.9 Cívka drátu

6.5. Kotevní deska

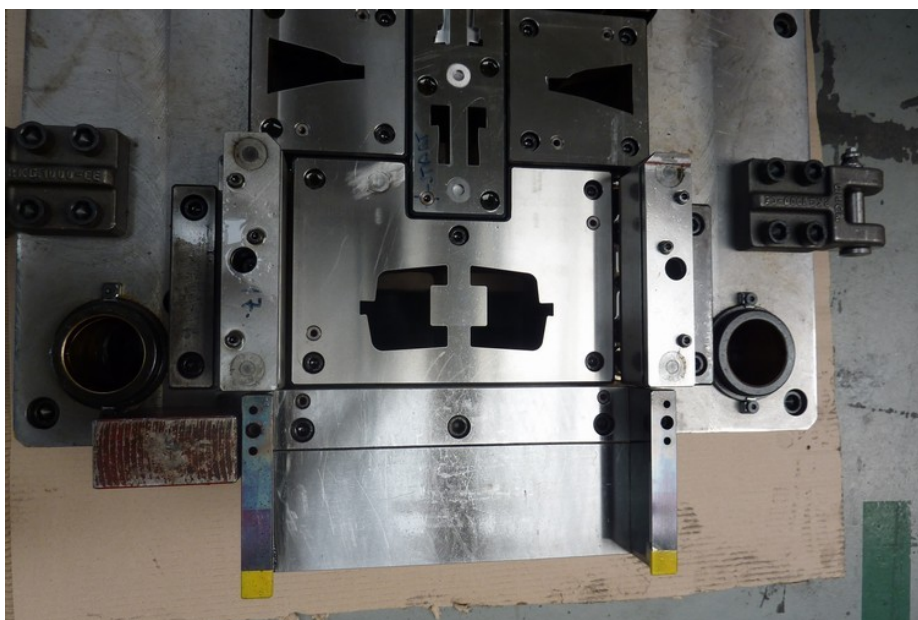
Kompletní střižný nástroj se skládá z mnoha částí nezbytných pro konečnou bezchybnou výrobu výlisku. Ten je konečným produktem v dlouhé cestě začínající obdržením poptávky, přes návrh nástroje, jeho výrobu, kompletaci a následným lisováním.

Tato diplomová práce se podrobněji zabývá kroky směřujícími k výrobě kotevní desky předem daného nástroje a možnosti urychlení a zlevnění výroby.

Na obrázku 6.10 si můžeme ve skutečnosti prohlédnout, ve kterých místech se kotevní deska v nástroji nachází. Přímý pohled na ni je však znemožněn jejím umístěním mezi vodící a kotevní deskou. Proto je na dalším obrázku 6.11 znázorněna střižná deska, která je pouhým okem nerozeznatelná od kotevní, liší se pouze ve výrobě s větší přesností.



Obrázek 6.10 Umístění kotevní desky



Obrázek 6.11 Střížná deska

6.5.1. Materiál kotevní desky

Pro výrobu kotevních desek používají ve společnosti Massag Stamping v zásadě pouze dva typy materiálu a to konstrukční ocel 1.0570 a nástrojovou ocel 1.2312.

Konstrukční ocel 1.0570

DIN: S355J2G3

Starší označení: ČSN 11 523

Charakteristika:

Nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel vhodná ke svařování. [18]

Vhodnost použití:

Mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a součásti tlakových nádob vyrobených z tyčí. [18]

Chemické složení:

Tabulka 6.4 Chemické složení[18]

Značka oceli	Chemické složení v %								
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Co	P max.	S max.
DIN není									
ČSN 11 523	max 0,20		max 1,60	max 0,55				0,040	0,045

Tepelné zpracování:

Tabulka 6.5 Tepelné zpracování [18]

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Normalizační žíhání	870-900	Ochlazovat na vzduchu, velké průřezy zrychleně
Žíhání na měkko	680-710	Zvolna ochlazovat
Popouštění	670-700	Ochlazovat na vzduchu

Nástrojová ocel 1.2312

DIN: 40CrMnMoS86

Starší označení: 19 520

Charakteristika:

Chrom - mangan - molybdenová ocel ke kalení na vzduchu nebo v oleji s velmi dobrou prokalitelností a dobrou pevností za tepla. Je dobře tvárná za tepla a díky zvýšenému obsahu síry dobře obrobitelná jak ve stavu žíhaném na měkko, tak i ve stavu zušlechtěném. Ocel má dobrou leštitelnost, lze ji cementovat v lázni nebo plynu i nanášet tvrdochrom. [18]

Vhodnost použití:

Nástroje pro zpracování umělých hmot jako jsou velké a střední formy, formovací rámy pro lití plastických hmot a kovů pod tlakem. Pro méně náročné nástroje možnost používat ocel ve zušlechtěném stavu na 950 až 1100 N/mm² již bez dalšího tepelného zpracování. [18]

Chemické složení:

Tabulka 6.6 Chemické složení [18]

Značka oceli	Chemické složení v %							Tvrдость ve stavu	
								Žih. na měkko	Zušlechtěném
	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	HB	HRC
DIN 40CrMnMoS86	0,35-0,45	1,4-1,6	0,3-0,5	1,8-2	0,15-0,25	0,03	0,05-0,1	235	51
ČSN není									

Tepelné zpracování:

Tabulka 6.7 Tepelné zpracování [18]

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	850-1050	Pomalou ochlazovat v suchém popelu nebo silné průřezy v peci
Žihání na měkko	760-780	Několik hodin prohřát, většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žihání ke snížení pnutí	600-650	1-2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	840-880	Ochlazovat v oleji nebo na vzduchu 180-220°C
Popouštění	640-680	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

6.5.2. Výkresová dokumentace

Společnost Massag Stamping si sama navrhuje a vytváří 3D modely všech částí střížného nástroje. Každý model je poté převeden do 2D výkresové dokumentace, podle které jsou části na dílně vyráběny.

Příloha č. I je samotným výkresem kotevní desky, která obsahuje nárys a řez otvory kotevní desky. Hlavní rozměry desky a velikosti děr jsou okótované v samotném nákresu. Detailní rozpis pozic děr se nachází v pravém dolním rohu výkresu, přičemž je zaznačena pozice každé díry v ose X a Y. Díry jsou podle typu rozděleny do skupin A až C.

Předtím než jsou vyfrézovány otvory do desky musí zadat obsluha stroje nulový bod, který je na výkrese zaznačen. V našem případě je to pozice díry B1(X0.00, Y0.00). Díry s označením A1, C1, C2 a C3 jsou díry pro šrouby. Díry B1 a B2 jsou přesné díry pro kolíky. Ty mají za funkci střídit tvar a udávají jeho přesnou pozici. Tyto díry jsou drátovány s přesností H7 a jejich počet závisí na velikosti a tvarové rozmanitosti desky.

V neposlední řadě se na výkresu nachází tabulka tolerančních úchylek rozměrů a razítko s názvem, číslem výkresu, materiálem polotovaru a čistým rozměrem obrobku.

Takto zhotovený výkres je dle technologického postupu předložen jednotlivým pracovištím, které se podílejí na výrobě kotevní desky.

6.6. Současný postup výroby

Společnost Massag Stamping a.s. pro svoji výrobu nakupuje výchozí polotovary od společnosti JKZ Bučovice. Tato společnost dodává neopracované, pouze nadělené desky na rozměry požadované zákazníkem.

Na základě poptávky desky o rozměrech 30 x 125 x 225 mm z materiálu 1.2312 a 11 523 u společnosti JKZ Bučovice přišla z této společnosti cenová nabídka:


Tabulka 6.8 Cenová nabídka společnosti JKZ Bučovice

Popis	Množství	Cena%DPH	Kč Celkem
W.Nr.1.2312	1 ks	508,00	508,00
ČSN 11 523	1 ks	224,00	224,00

V těchto cenách je zahrnuto dělení materiálu, přičemž termín dodání je 3-5 pracovních dní ode dne objednání.

Dodaný materiál je dále použitý při výrobě kotevní desky dle technologického postupu zpracovaného technologem společnosti, který je znázorněn v tabulce 6.9.

Tabulka 6.9 Technologický postup [19]

Číslo objednávky: 2NC100158			Technologický postup		Auto				
					Klasika				
					Clares				
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce				Podpis pracovníka			
1.	525	220 x 120 x 28,2 hrubování							
2.	561	28							
3.	MCV	Dle programu,otvory pro EIR							
4.	823	Kontrola,hrany,označit							
5.	EIR	Dle dat							
6.	823	Dokončit							
Datum: 15.11.2010		Materiál: 11523		Počet kusů:1	Termín:				
Navrhl: Dobeš		Poznámka: 12 332/333 00 – kotevní deska P.134							

Nejprve putuje materiál na pracoviště, kde dochází k jeho hrubování na rozměry 200 x 120 x 28,2 mm, zaznamenané v technologickém postupu pod číslem 525. K tomu dochází na konvenčních horizontálních i vertikálních frézkách vyobrazených na obrázku 6.13. Jelikož vnější rozměry desky přímo nenavazují na následující desky v nástroji, nemusí obvod desky projít dokončovací operací.



Obrázek 6.13 Vertikální frézka,
pracoviště 525



Obrázek 6.14 Vodorovná
rovinná bruska BRH 20.02

Následuje operace broušení, které je prováněno na brusce z obrázku 6.14, na technologickém postupu zaznamenáno pod číslem 561. Tady je na desce dosaženo přesné tloušťky 28 mm, přičemž doba trvání broušení i se samotnou přípravou trvá až 1,5 hodiny.

Takto připravený materiál se dostává na pracoviště MCV – frézovací centrum vyobrazeno na obrázku 6.15 s programem Power Mill. Zde dochází k vyvrtání děr pro šrouby, jakož i vyvrtání startovací děr pro následné provlečení drátu nutné při drátovém řezání. Startovací díry mohou být jen malých průměrů, závisí na možnostech fréz a tuhosti použitého stroje. V zásadě tyto startovací díry umísťujeme co nejblíže kontury uvnitř drátovaného obrysu, aby se ušetřil čas při drátování.



Obrázek 6.15 Vertikální frézovací centrum

Následně je nutná vizuální kontrola provedených operací a sražení hran desky na pracovišti 823 v délce cca 30 min. Dále polotovar putuje na nejdůležitější pracoviště z celého procesu zaznačené pod zkratkou EIR – drátová řezačka. Před samotným procesem si obsluha stroje načte do programu PEPS v počítači kontury desky a obrysy pro drátování, které jsou poté převedeny v programovacím jazyku do drátové řezačky. Následuje zadání parametrů stroji. V našem případě budou stroji zadány parametry:

- průměr drátu – 0,25 mm,
- materiál polotovaru – 11 523,
- tloušťka materiálu – 28 mm,
- počet hrubovacích a dokončovacích řezů – 1 hrubovací a 1 dokončovací řez.

Zbývající parametry jako jsou hodnoty proudu a napětí, vzdálenost v jaké se bude drát pohybovat od kontury – offset a rychlost řezání si stroj určuje sám. Jediný parametr – rychlost pohybujícího se drátu - může obsluha stroje korigovat.

Zde jsou vydrátovány přesné otvory pro kolíky s přesností H7, přičemž nulový bod obrobku bude umístěn v díře pod označením B1 na výkrese. Kolíky slouží ke středění tvaru a udávají přesnou pozici tvaru v desce. Minimální počet kolíků v desce jsou dva, s přibývajícími rozměry desky a počtu tvarů v desce roste také počet potřebných kolíků.

Po vydrátování kolíků přicházejí na řadu tvarové části. Jak kolíkové díry, tak také tvarové části jsou drátovány jedním řezem hrubovacím s rychlostí pohybujícího se drátu 1,43 mm/min a jedním šlichtovacím s rychlostí pohybu 2,86 mm/min. Podrobným popisem jednotlivých parametrů se budu dále zabývat v kapitole ekonomického zhodnocení.

Posledním krokem výroby je začištění děr a rozměrová kontrola na pracovišti 823.

6.7. Návrh nové technologie

Úvodem této kapitoly bych ráda podotkla, že po navštívení i jiných společností, než byla zadávající společnost diplomové práce Massag Stamping a.s., taktéž zabývající se výrobou lisovacích nástrojů, byl předem nabytý dojem stagnace této metody správný. Pokud společnosti nezainvestují značné částky do modernizace zařízení, nenabízí se urychlení technologie řezání drátovou elektrodou.

Pokud by však společnost nechtěla, popřípadě nemohla z ekonomických důvodů tento krok podniknout, je další možností zproduktivnění a urychlení výrobního procesu nakupování na přesný rozměr vypálených polotovarů i se startovacími otvory nutnými k provlečení drátových elektrod před zahájením drátového řezání. Vypálená deska i se startovacími otvory je znázorněna na obrázku 6.16.

U desek větších rozměrů je možno nechat si vypálit také otvory pro sloupky. Při tloušťce kotevní desky i s přídavkem na opracování 30 mm má nejmenší možná vypálená díra taktéž průměr 30 mm metodou vypálení plamenem. Tato metoda však neumožňuje vypálit používaný materiál na kotevní desky 1.2312 a proto byla poptána jen deska z materiálu 11 523.



Obrázek 6.16 Deska s vypálenými otvory

Poptávka na vypálení desky z materiálu 11 523 o rozměrech 220 x 120 x 30 mm včetně dvou startovacích otvorů pro drátování byla zaslána společnosti PALÍRNA-KOVO s.r.o se sídlem v Bílovci také proto, že je to nedaleko Fulneku a odpadají tak vysoké náklady na dopravu. Termín v případě zhotovení by byl do 3 pracovních dnů po objednání. Cenové relace zaslané touto společností jsou uvedeny v tabulce 6.10.

Tabulka 6.10 Cenové relace společnosti Palírna-kovo

Pol č.	Název	Rozměry výpalku [mm]	Jakost plechu	Cena mat. [Kč/ks]	Cena pálení [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
1	Plech	30x120x220	S355J2+N	143,00	115,00	258,00
2	Plech se 2 otvory	30x120x220 nákres	S355J2+N	143,00	217,00	360,00

Při nakoupení vypálených plechů by odpadlo frézování obvodu polotovaru, čímž by bylo ušetřeno v průměru 30 min. Při hodinové sazbě stroje 400 Kč tvoří úspora 200 Kč. Dále pak na pracovišti MCV, jehož hodinová sazba je 700 Kč, by byla potřeba vyfrézovat pouze čtyři díry pro šrouby, jelikož startovací otvory pro drátové řezání již byly vypáleny v palírně. Tímto by bylo ušetřeno dalších 15- 20 min, což činí 175 - 234Kč.

7. Ekonomické zhodnocení stávající a nové technologie

Do dnešní doby společnost Massag Stamping a.s. nakupovala materiál pro výrobu nejen kotevních desek ve společnosti JKZ Bučovice, kde je cena desky z materiálu ČSN 11 523 o rozměrech 225 x 125 x 30 mm **224 Kč**.

Dle interního programu, který společnost používá pro výpočet ceny elektrodrátového řezání byly vypočteny náklady spojené s vyřezáním dvou tvarů a dvou děr pro kolíky s přesností H7. Pro samotný výpočet bylo nutno zadat následující parametry:

- průměr děr – 12 mm,
- počet děr – 2,
- hloubka děr – 28 mm,
- počet hrubovacích a dokončovacích řezů pro díry – 1+1,
- obvod tvaru – 460 mm,
- hloubka tvaru – 28 mm,
- počet hrubovacích a dokončovacích řezů pro tvar – 1+1,
- hodinová sazba stroje – 850 Kč/hod.

Po vložení výše uvedených údajů do programu byla při rychlosti hrubování 1,43 mm/min a rychlosti dokončování 2,86 mm/min spočtena celková délka drátování na 592 min a náklady s tím spojené tvoří **9 973 Kč** s DPH.

Možnost pro úsporu jak finančních prostředků, tak doby obrábění lze spatřit v nákupu materiálu z palírny, který je vypálen na potřebný rozměr bez nutnosti dalšího frézování obvodu desek a startovacích děr.

Po zadání poptávky na desky ze stejného materiálu, jako společnost doposud kupovala, byla od společnosti Palírna-kovo obdržena nabídka na vypálení desky o rozměrech 225 x 125 x 30 mm i s vypálenými startovacími otvory v ceně 360 Kč. S takto nakoupeným materiálem je možné v případě frézování ušetřit 30 min a v případě NC frézování až 20 min. Při již výše zmiňovaných hodinových sazbách jednotlivých strojů činí úspora 434 Kč. Po započtení této úspory, nákladů na materiál a nákladů na drátové řezání je možné při zhotovení jedné desky ušetřit cca **300 Kč a 50 min**.

Ačkoli uspořena částka není (vztaženo na jednu desku) nikterak vysoká, je nutné si uvědomit, že společnost Massag Stamping a.s. je společností s relativně velkým obrátem těchto desek (ročně až sto kusů). Navíc řada vyrobených desek je rozměrnějších a s větším

počtem jak startovacích děr, tak děr pro kolíky, než výše uvedené desky o rozměrech 225 x 125 x 30 mm. Díky relativně vysokému obrátu desek lze tedy využitím nové metody realizovat nezanedbatelnou úsporu.

V rámci dalšího zefektivnění výroby by bylo výhodné nakoupit novější stroj pro WEDM obrábění. Tím by bylo umožněno dosáhnout lepších výsledků při užití vyšších rychlostí posuvu drátu při hrubovacím i dokončovacím řezu. Z provedených návštěv konkurenčních společností, jež tyto stroje vlastní a využívají, vyplynulo, že rychlost posuvu drátu lze tímto zvýšit až dvojnásobně.

Pokud by se společnost Massag Stamping a.s. snažila se svým strojem HITACHI 254Z přiblížit maximálním možným hodnotám rychlosti posuvu drátu, což je 2,5 mm/min pro hrubování a 5 mm/min pro dokončování (při zachování všech ostatních parametrů), náklady spojené s drátovým řezáním kotevní desky by činily **5 920 Kč** s DPH.

Za výše uvedených předpokladů je možné realizovat úsporu ve výši **4 053 Kč** oproti původnímu nastavení stroje. Při těchto maximálních krajních rychlostech však může častěji docházet k přetrhávání drátu, což vyvolá vyšší časovou náročnost a náklady na obsluhu stroje (nutnost opětovného navlékání drátu). Je tedy nezbytné přistupovat k této variantě velmi obezřetně, neboť není zajištěn její pozitivní dopad. Pro konkrétní výsledky by bylo nutné další následné ověřování.

Pokud by se však společnost rozhodla investovat do nového stroje, bylo by možné bez problémů dosáhnout navýšených hodnot rychlosti. Kompletní cenové zhodnocení nabízených variant je zobrazeno v tabulce 7.1

Tabulka 7.1 Cenové zhodnocení stávajících a nových možností výroby desky

Poz.	Technologie	Náklady na drátové řezání [Kč]	Cena materiálu ČSN 11 523 [Kč]	Ušetřeno na zbývajících operacích [Kč]	*Celková cena [Kč]
1.	Stávající technologie	9 973	224	-	10 197
2.	Vypálené desky	9 973	258	200	10 031
3.	Vypálené desky s otvory	9 973	360	434	9 899
4.	Nákup nového stroje	5 920	360	434	5 846
	Rozdíl mezi 1. a 3. technologií				298

* zahrnuje pouze náklady spojené s nákupem materiálu, drátovým řezáním a od této částky jsou odečteny úspory na frézovacích operacích

8. Závěr

Při zpracování této diplomové práce bylo nezbytné v rámci nabývání jistých znalostí o problematice drátového řezání navštívit nejen společnost Massag Stamping a.s. (zadavatele této práce), nýbrž také další menší i větší společnosti z okolí Fulneku. Konkrétně se jednalo o společnosti OLMEX z Ostravy, Formprojekt z Fulneku a MS Technik z Nového Jičína. Tyto společnosti se zabývají výrobou postupových střížných nástrojů a vlastní hned několik elektrodrátových řezaček. Každou další návštěvou výše zmíněných společností byly prohlubovány znalosti a veškeré kladené dotazy byly vstřícně zodpovězeny lidmi, kteří se v praxi zabývají problematikou elektrodrátového řezání (např. projektant nástrojů, vedení společnosti, obsluha stroje apod.).

Technologické procesy při výrobě desek jsou ve všech navštívených společnostech podobné. Navrhnout zcela novou a progresivnější výrobu není v daných případech s využitím stávajících strojů možné. Také z tohoto důvodu byla pozornost zaměřena na nákup materiálu pro desky z palírny, neboť v tomto případě si lze nechat vypálit potřebné otvory, a tím ušetřit individuální časový fond pro jednotlivou desku.

Z hlediska kotevní desky, jejíž výroba byla detailně rozebrána v této diplomové práci, bylo dospěno k závěru, že pokud by společnost nakoupila vypálený polotovár i se startovacími otvory, činila by úspora při zhotovení této desky 300 Kč. Ačkoli tato úspora není nikterak vysoká (vztaženo na jednu desku o rozměrech 225 x 125 x 30 mm), v kontextu výroby desek s komplikovanějšími otvory a při zohlednění ročního množství vyráběných desek (při 15 kompletních střížných nástrojích) se stává zajímavou. Mnohem vyšších úspor by však bylo dosaženo nákupem nového stroje, a tím možnosti navýšení řezné rychlosti, kdy jen u drátového řezání by vznikla úspora cca 4000 Kč/deska.

Přestože společnost Massag Stamping a.s. vyrábí až 15 postupových střížných nástrojů ročně, přičemž každý obsahuje v průměru 5 kompletních střížných nástrojů a zbytek jsou části tvarovací, nelze přesně určit celkovou částku ušetřenou nákupem polotovarů z palírny. Počet desek v jednom střížném nástroji, které projdou elektrodrátovým řezáním, je sice konstantní, avšak počty a rozměry děr v deskách jsou pro každý nástroj individuální, stejně jako rozměry jednotlivých desek.

Nyní záleží na společnosti Massag Stamping a.s., jak naloží se zjištěnými poznatky, doporučeními a zaimplementuje je do výroby. S přihlédnutím k vývoji zakázek

v budoucnu a k potenciálním úsporám by bylo vhodné, aby společnost Massag Stamping a.s. zhodnotila možnost nákupu nového stroje.

Seznam použité literatury

- [1] BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*. Skripta FS ČVUT, Praha: Ediční středisko ČVUT, 2005.
- [2] Biblion [online]. 2007 [cit 2010-03-11]. *Characterization of electrical discharge machining plasma*. Dostupné z WWW: <http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2006/3542/EPFL_TH3542.pdf>
- [3] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*, Technická univerzita Košice, Viena, 2000, 275 s., ISBN 80-7099-430-4.
- [4] MM Průmyslové spektrum [online]. 2007 [cit 2011-01-15]. *Nekonvenční metody obrábění*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>>
- [5] LANGR, Martin. *Zproduktivnění elektrodrátového řezání*. Ostrava, 2010, 42s. Bakalářská práce, VŠB-TU Ostrava.
- [6] Hitachi cable. [online]. 2011 [cit 2011-01-15]. *Hitachi cable*. Dostupné z WWW: <<http://www.hitachi-cable.co.jp/en/about/publish/review/n22.html>>
- [7] KOVÁŘ, Petr. *Elektroerozivní obrábění*. Ostrava, 2009. 43s. Bakalářská práce, VŠB TU Ostrava.
- [8] ŘASA, Jaroslav; POKORNÝ, Přemysl; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 – 2.díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*, Pedagogické nakladatelství Scientia, Praha 6 2001, 221s, ISBN 80-7183-227-8.
- [9] KUCHARÍK, Milan. *Drátové elektroerozivní obrábění při výrobě přesných střižných nástrojů*. Brno, 2008. 65s. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně.
- [10] BILÍK, Oldřich. *Obrábění I*, VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2002, 80 s., ISBN 80-248-0033-0
- [11] MASSAG Stamping a.s. Fulnek [online]. 2009 [cit 2011-01-13]. *Prezentace_massag*. Dostupné z WWW: <www.massagstamping.cz>

- [12] ČEP, R; BRYCHTA, J; NOVÁKOVÁ, J. *Technologie II, 2.díl.* Ostrava, 142s. Učební texty, VŠB TU Ostrava.
- [13] HUMÁR, A. *Technologie obrábění - 3.část.* Vysoké učení technické v Brně, Brno 2005, 57 s.
- [14] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I.* VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2009, 152 s., ISBN 978-80-248-2107-8.
- [15] Strojaři [online]. 2009 [cit 2011-03-05].*Fyzikální technologie obrábění.*]. Dostupné z WWW:<<http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep5.pdf>>
- [16] *Instructional manual* instructional manual – hitachi wire electrical discharge machina, model 254Z, No- WEDMZ00 – 01, 2000-09
- [17] Penta-edm [online]. 2009 [cit 2011-03-05]. *Spotřební materiál.* Dostupné z WWW: <http://www.penta-edm.cz/dokumenty/spotrebni_material/drat_pc_t.jpg>
- [18] JKZ Bučovice a.s. [online]. 2011 [cit 2011-04-10]. *Nástrojová ocel.* Dostupné z WWW: <www.jkz.cz>
- [19] Vnitropodnikový materiál společnosti Massag Stamping a.s.

Přílohy

Příloha č.I.: Výrobní výkres kotevní desky [19]